



Anna Keskinen

## **Lumilogistiikan tehostaminen kaupungeissa**

Diplomityö, joka on jätetty opinnäytteenä tarkastettavaksi  
diplomi-insinöörin tutkintoa varten.

Espoossa 10.09.2012

Valvoja: Professori Terhi Pellinen

Ohjaajat: DI Ville Alatyppö, TkL Oiva Huuskonen

---

**Tekijä** Anna Keskinen

---

**Työn nimi** Lumilogistiikan tehostaminen kaupungeissa

---

**Laitos** Yhdyskunta- ja ympäristötekniikka

---

**Professuuri** Tietekniikka

---

**Professuurikood** Yhd-10

---

**Työn valvoja** Professori Terhi Pellinen

---

**Työn ohjaajat** DI Ville Alatypö, TkL Oiva Huuskonen

---

**Päivämäärä** 10.9.2012

**Sivumäärä** 113 + 59

**Kieli** Suomi

---

### Tiivistelmä

Diplomityön tavoitteena oli kehittää menetelmä esikaupunkialueiden tehokkaammalle lumen käsittelylle varsinkin runsaslumisina talvina. Lumilogistiikanmenetelmään sisällytettiin talvihoidon nykytilan analysointi tutkimuksessa mukana olevissa kaupungeissa, lumitaselaskelmat, kustannus- ja hiilidioksidipäästövertailu lumen kuljetuksen ja lumen lähisiirron osalta sekä lähisiirtopaikkojen vaatimusten määrittely. Nykytilaa analysoitiin haastattelemalla sekä tutkimalla kaupunkien omia julkaisuja ja tilalastoja. Kirjallisuustutkimuksen perusteella selvitettiin, mitä eri lumen käsittelytapoja ja vaikutuksia lumen läjittämällä on sekä miten lumen olomuoto muuttuu talven aikana. Tutkimuksen rahoittajina olivat Helsingin, Jyväskylän, Tampereen, Turun ja Vantaan kaupungit sekä Destia Oy kunnossapitourakoitsijan roolissa.

Esimerkinomaiset lumitaselaskelmat tehtiin neljälle kadulle sekä Helsingissä että Jyväskylässä. Käytännön kokemuksia vastaten, lumitaselaskelmien perusteella todettiin, että katujen lumitilat eivät olleet riittävät, vaan lunta joudutaan varsinkin runsaslumisina talvina kuljettamaan kadulta pois. Kustannusvertailu osoitti, että lumen lähisiirto tulee selvästi halvemmaksi kuin lumen kuljettaminen. Lähisiirtämällä 30 %:a lumesta, saatiin 19 %:n kustannussäästöt. Samoin hiilidioksidipäästöt vähenivät 12 %:a. Pelkän lähisiirron kustannukset olisivat 64 % pelkkään kuljetukseen verrattuina. Laskelmien perusteella kuntien suositellaan lisäävän lähisiirtopaikkojen käyttöä.

Haastattelujen ja kaupunkien nykytila-analyysin perusteella havaittiin, että lähisiirto-paikat tulee suunnitella alueellisina kokonaisuuksina. Uusilla alueilla lähisiirtoalueet tulisi suunnitella jo kaavoituksen yhteydessä ja merkitä selvästi kaavaan. Lähisiirtoalueiden sijoituksessa tulee ottaa huomioon kuivatus, maapohjan kantavuus sekä työkonien liikkuminen alueelle. Keväisin lumen sulattua tulee roskat poistaa ja hiekoitushiekka kerätä talteen esteettisyyden ja muiden ympäristövaikutusten vuoksi. Muita lumilogistiikan tehostamisen keinoja ovat lumilingon käyttäminen sekä kuormaamisessa että lumen lähisiirrosta, parikatujen muuttaminen yksisuuntaisiksi talven ajaksi ja vuoropysäköinti.

---

**Avainsanat** talvihoito, lumilogistiikka, lumen läjitys, lumen lähisiirto, lumitase

---



---

**Author** Anna Keskinen

---

**Title of thesis** Enhanced snow removal logistics in suburban areas

---

**Department** Civil and Environmental Engineering

---

**Professorship** Highway Engineering

---

**Code of professorship** Yhd-10

---

**Thesis supervisor** Professor Terhi Pellinen, Aalto University

---

**Thesis advisors** M.Sc. Ville Alatyppö, Lic.Sc. Oiva Huuskonen

---

**Date** 10.09.2012

---

**Number of pages** 113 +59

---

**Language** Finnish

---

## **Abstract**

The aim of this master's thesis was to develop a more efficient method for suburban snow removal logistics especially for heavy snow accumulation. The proposed method consisted of snow balance calculations, comparisons of costs and carbon dioxide emissions between long and short haul distances of snow, as well as defining requirements for local snow disposal sites. Also, the current state of snow removal logistics in cities involved in the study was analyzed using interviews among maintenance personnel and statistics of the cities. The literature review section of this thesis deals with different snow handling methods, the effects of depositing snow in storing areas, and review of volume and phase change of snow over the course of winter. The study was financed by the cities of Helsinki, Jyväskylä, Tampere, Turku and Vantaa and maintenance contractor Destia Ltd.

Snow balance calculations were made for four streets in Helsinki and Jyväskylä. As evidenced by city maintenance records, calculations showed that there was not enough space for snow storage along the street, and snow must be transported to central snow disposal sites, especially during snowy winters. Transportation cost comparisons showed that the short haul is considerably more advantageous than the long haul to the central snow disposal sites. Short hauling of 30% of the total amount of snow would lead to cost savings of 19 %. Similarly, carbon dioxide emissions could be reduced by 12 %. If all of the snow was short hauled, cost savings would be 64 % when compared to hauling the snow to central disposal site. Based on the calculations, municipalities are recommended to increase the use of local snow disposal sites.

Based on interviews and analysis of state of practice, it is recommended that local snow disposal should be designed as regional entities. Designing them should be a part of land use planning in new areas. Drainage, geotechnical properties of the soil and topography should be taken into account when planning local snow disposal sites. For aesthetic and environmental reasons garbage must be removed and sand collected in the spring when the snow melts.

---

**Keywords** winter maintenance, snow logistics, snow disposal sites, short haul, snow balance

---

## Alkusanat

Tämä diplomityö on tehty Aalto-yliopiston insinööritieteiden korkeakoulun liikenne- ja tietekniikan tutkimusryhmässä. Diplomityön rahoittajina olivat Helsingin, Jyväskylän, Tampereen, Turun ja Vantaan kaupungit sekä Destia Oy, joita kiitän mahdollisuudesta tehdä diplomityö hyvin ajankohtaisesta ja mielenkiintoisesta aiheesta. Kiitos myös kaikille haastatelluille hyvistä keskusteluista.

Lämpimät kiitokset loistavasta ohjauksesta DI Ville Alatypölle sekä TkL Oiva Huuskoselle. Diplomityötä oli ilo tehdä ammattitaitoisten ja aiheesta kiinnostuneiden ohjaajien kanssa. Kiitokset myös professori Terhi Pelliselle työn valvomisesta ja hyvistä neuvoista työn aikana. Erityiskiitokset ansaitsee Jarkko Valtonen diplomityön aiheen hankkimisesta sekä ohjaamisesta ja tukemisesta työn aikana. Hänen ansiostaan opin myös monta uutta asiaa sekä kielenhuollosta että endurosta. Kiitokset tielabran henkilökunnalle, työskentelyilmapiiri on ollut vertaansa vailla. Kiitos myös muille diplomityöntekijöille eteenpäin potkimisesta ja vertaistuesta.

Opiskeluvuosia muistelen kaiholla ja yhteisesti haluan kiittää kaikkia opiskelukavereita ja ystäviä, joihin vuosien aikana olen tutustunut. Teitte opiskeluajasta ikimuistaisen ja ah, niin hauskan!

Kiitokset perheelleni ja Lasselle kannustamisesta, tukemisesta ja kärsivällisyydestä opintojeni aikana.

Näin siinä vain kävi, että unelma diplomityöstä toteutui eivätkä tentit vanhentuneet.

Espoo 10.9.2012

Anna Keskinen



# Sisällysluettelo

Tiivistelmä

Abstract

Alkusanat

Sisällysluettelo.....	5
1 Johdanto.....	7
1.1 Työn tausta.....	7
1.2 Ongelman kuvaus.....	8
1.3 Tutkimuksen tavoitteet.....	8
1.4 Tutkimuksen rakenne.....	9
1.5 Tutkimuksen rajaus.....	10
2 Kirjallisuustutkimus.....	11
2.1 Kadunpito.....	11
2.1.1 Lain ja kuntien käyttämät käsitteet.....	11
2.1.2 Kaavoitus ja katusuunnittelu.....	13
2.1.3 Laatu- ja toimivuusvaatimukset.....	13
2.1.4 Lumitilat katusuunnittelussa.....	15
2.2 Lumen ominaisuudet.....	17
2.2.1 Lumen vesi-arvo ja tiheys.....	17
2.2.2 Lumisadannan määrittely.....	18
2.2.3 Talven rankkuuden määrittely.....	19
2.3 Lumen käsittely.....	22
2.3.1 Talvihoidon kehittäminen kaupungeissa.....	22
2.3.2 Lumen läjitys ja sen vaikutukset.....	25
2.3.3 Katualueiden lumimäärän laskeminen ja lähisiirtopaikkojen tarve.....	30
2.3.4 Lumen lähisiirtopaikkojen sijainti ja huomioonotto kaavoituksessa.....	33
2.3.5 Lumen siirtoon ja käsittelyyn käytettävä kalusto.....	36
2.3.6 Muita lumen käsittelytapoja.....	38
2.3.7 Lumen siirron ja käsittelyn kustannukset.....	40
3 Tutkimusmenetelmät, aineiston keruu ja käsittely.....	41
3.1 Laskelmat.....	41
3.1.1 Säätilastojen käyttö.....	41
3.1.2 Lumen tiheys.....	42
3.2 Haastattelututkimus.....	43
3.3 Maastohavainnot.....	44
4 Tutkimustulokset.....	45
4.1 Tutkimuksessa mukana olevien kaupunkien nykytila.....	45
4.1.1 Kaupunkien perustiedot.....	45
4.1.2 Talvihoidon toteutus.....	45
4.1.3 Laatu- ja toimivuusvaatimukset.....	48

4.1.4	Lumenvastaanottopaikat .....	53
4.1.5	Talvihoidon kustannukset .....	58
4.1.6	Talvihoidon suurimmat ongelmat.....	59
4.2	Lumitaseen laskenta.....	63
4.2.1	Esimerkkikadut.....	63
4.2.2	Lumitaselaskelmat .....	64
4.2.3	Virhetarkastelu .....	72
4.3	Katujen lumilogistiikkakustannukset ja niistä johtuvat hiilidioksidipäästöt....	76
4.3.1	Kuljetus ja lähisiirtokustannukset.....	77
4.3.2	Hiilidioksidipäästöt.....	80
4.3.3	Virhetarkastelu .....	81
4.4	Lähisiirtoalueiden suunnittelu .....	85
4.4.1	Lähisiirtoalueiden sijoitus .....	85
4.4.2	Maastohavaintojen tulokset.....	87
4.4.3	Lumen lähisiirtoon soveltuva kalusto .....	88
4.4.4	Lähisiirtoalueet kaavoituksessa .....	89
4.4.5	Ehdotuksia esimerkkikatujen lähisiirtopaikoiksi.....	90
4.5	Muita lumilogistiikan tehostamisen keinoja .....	94
5	Tulosten analysointi .....	96
5.1	Tyypitalvien valinta .....	96
5.1.1	Sulamisen vaikutus .....	97
5.2	Lumitaselaskelmat .....	98
5.2.1	Tiivistymisasteen valinnan vaikutus.....	99
5.3	Katujen lumilogistiikkakustannukset ja hiilidioksidipäästöt.....	99
5.4	Lumenlähisiirtoalueiden suunnittelu.....	100
5.5	Jatkotutkimusaiheet .....	102
6	Yhteenveto, päätelmät ja suositukset .....	103
	Lähdeluettelo .....	106
	Liiteluettelo .....	113
	Liitteet	

# 1 Johdanto

## 1.1 Työn tausta

Terminen talvi eli aika, jolloin vuorokauden keskilämpötila on alle 0 celsiusastetta, on pisin vuodenaika Suomessa. Pohjois-Suomessa termisen talven pituus voi olla jopa seitsemän kuukautta, kun Ahvenanmaalla se on yleensä vain neljä kuukautta. Lumipeitteen syvyys ja lumipeiteaika vaihtelevat eri talvina ja siten myös talvihoidon tarve. Kaduilla oleva lumi haittaa liikkumista, ja kunnille aiheutuu lumen käsittelystä kustannuksia.

Suomessa kunnat toimivat kadunpitäjinä eli vastaavat katujen ylläpidosta. Katujen ylläpidolla tarkoitetaan katujen hoitoa ja kunnossapitoa. Talvihoito on yksi merkittävä osa katujen hoitoa. Muut hoidon osa-alueet ovat mm. puhtaanapito, katuvihreän ja katuvalaistuksen hoito. Kunnossapitoon kuuluvat sekä rakenteellinen kunnossapito että varusteiden kunnossapito. Talvihoitoon kuuluvat lumen ja sohjon poisto, polanteen poisto, lumen lähisiirto ja poiskuljettaminen, liukkauden torjunta, hiekoitushiekan poisto ja pölyn sidonta sekä kuivatusjärjestelmien sulatus. (SKTY 2006.) Tässä työssä lumilogistiikalla tarkoitetaan näistä lumen lähisiirtoa ja poiskuljettamista sekä lumen läjitystä. Lumilogistiikkatermiä ei ole aiemmin juurikaan käytetty, mutta sen käyttö on lisääntynyt viime vuosina.

Talvihoito on kustannuksiltaan merkittävin ylläpidon menoerä ja siksi sen suunnittelu on tärkeää. Sen laatu vaikuttaa sekä liikkumiseen että turvallisuuteen. Huono talvihoito estää liikkumisen, jos kulkureitit katkeavat tai palveluiden saavuttaminen estyy (Kuntaliitto 2005). Lumilogistiikan tehostamisen tavoitteena on vähentää talvihoidon kustannuksia ja siitä aiheutuvia kasvihuonepäästöjä ja muita haittoja.

Lumen lähisiirrolla tarkoitetaan lumen siirtämistä lähelle ilman, että lunta kuljetetaan viralliselle lumenvastaanotto paikalle. Oulun kaupunki (2011) on määritellyt lähisiirron maksimipituudeksi 75 metriä. Tässä työssä lähisiirrolla tarkoitetaan lumen lyhyttä siirtämistä saman katualueen/korttelin sisällä. Lumenvastaanotto paikat ovat kuntien osoittamia virallisia lumen läjityspaikkoja. Kunnilla ei ole lakisääteistä velvoitetta niiden järjestämiseksi, mutta varsinkin kaupunkikunnat ylläpitävät alueita, joihin voidaan tuoda lunta sekä kaupungin yleisten alueiden että kiinteistöjen pihasta (Tampere 2012). Lähisiirtopaikalla tarkoitetaan pieniä lumenläjityspaikkoja, joihin lunta siirretään lähi-alueelta. Lähisiirtoaluetta voidaan kutsua myös paikalliseksi kasausta- tai läjityspaikaksi tai lähiläjityspaikaksi.

Paikallisten läjityspaikkojen tarvetta ei aiemmin ole Suomessa tutkittu eikä käytössä ole ollut menetelmää, jolla katualueelle tulevaa lumimäärää ja lumitilojen riittävyyttä voitaisiin kattavasti arvioida. Yleisten teiden lumitiloja sitä vastoin on tutkittu ja niiden mitoittamiseen annettu omat ohjeensa (Turunen 1991). Talvihoitoa ja lumen käsittelyä

on tutkittu aiemmin Suomen lisäksi Ruotsissa ja Pohjois-Amerikassa. Suomessa kaupunkien lumen käsittelyä on aiemmin tutkittu mm. Laihon (2011) kandidaatintyössä. Lisäksi uutta lumenpoistokalustoa on käsitelty Aalto-yliopiston liikenne- ja tietekniikan tutkimusryhmän lumenpoistotutkimuksessa (Simonen et al. 2011).

Tämän tutkimuksen rahoittajina ovat Helsingin, Jyväskylän, Tampereen, Turun ja Vantaan kaupungit sekä Destia Oy.

## **1.2 Ongelman kuvaus**

Talvina 2009–2010 ja 2010–2011 lunta satoi erityisesti Etelä-Suomessa tavanomaista enemmän ja pakkaset kestivät useita kuukausia. Useat kunnat olivat vaikeuksissa puutteellisen lumitilan vuoksi ja kaduilla ollut lumi vaikeutti liikkumista ja aiheutti lisäkustannuksia kunnille. Lumenvastaanottopaikkojen kapasiteetti täyttyi useassa kunnassa ja varapaikkoja jouduttiin ottamaan käyttöön. Pelkästään Helsingissä jouduttiin ottamaan käyttöön 21 uutta lumenvastaanottopaikkaa vuonna 2011. Lisäksi talvihoidon kustannukset olivat 50 % normaalia suuremmat vuonna 2010. (Alatypö 2012.)

Lumen poiskuljettaminen lumenvastaanottopaikoille aiheuttaa kunnille kustannuksia. Lisäksi kuljettaminen aiheuttaa melua ja kuormittaa ympäristöä aiheuttamalla kasvihuonepäästöjä. Runsaslumisena talvena 2010–2011 kuljetettiin Helsingissä noin 320 000 kuorma-autollista lunta lumenvastaanottopaikoille (Alatypö 2012). Kuljetuksista aiheutui arviolta 3 200 000 kg hiilidioksidipäästöjä.

Kaupunkialueet tiivistyvät koko ajan ja maankäyttöä tehostetaan. Katualueista halutaan kaupunkimaisia ja tiiviitä eikä kaavoituksessa ole aina varattu tarpeeksi tilaa lumelle ja sitä joudutaan kuljettamaan pois. Varsinkin asuntokadut ovat ongelmallisia. Osalta näiltä kaduilta joudutaan kaikki lumi kuljettamaan pois lumenvastaanottopaikoille puutteellisen lumitilan takia. Lumikertymät vaihtelevat vuodesta toiseen, mutta erilaisiin talviin ei varauduta kunnissa riittävästi. (Alatypö 2011.)

Tämän tutkimuksen keskeisimmät tutkimusongelmat voidaan esittää kahtena kysymyksenä:

- Miten arvioidaan kadulle tuleva lumimäärä?
- Voiko lähisiirtoalueita käyttämällä vähentää talvihoidon kustannuksia?

## **1.3 Tutkimuksen tavoitteet**

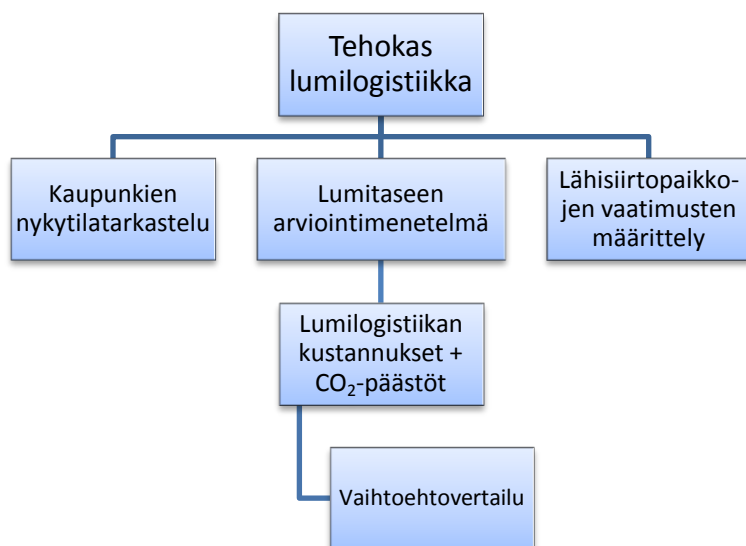
Tutkimuksen yleistavoitteena oli luoda menetelmä esikaupunkialueiden tehokkaammalle lumilogistiikalle. Menetelmän osatavoitteet olivat:

1. talvihoidon nykytilan analysointi tutkimuksessa mukana olevissa kaupungeissa
2. työkalun kehittäminen kaavoituksen ja ylläpidon avuksi
  - a. lumitaseen arviointimenetelmä
  - b. lumilogistiikkakustannusten ja kasvihuonepäästöjen vertailu
  - c. paikallisten lumenlajituspaikkojen vaatimusten määrittely

Kaavoituksen ja ylläpidon näkökulmasta on järkevää varautua niin sanotusti pahimpaan mahdolliseen tilanteeseen. Siksi lumitaseen arviointimenetelmän on tarkoitus sopia erityisesti runsaslumiseen talveen.

## 1.4 Tutkimuksen rakenne

Tutkimus koostuu sekä kirjallisuustutkimuksesta että kenttätutkimuksesta. Kirjallisuustutkimuksessa on selvitetty, miten aihetta on aiemmin tutkittu muualla ja mihin päätelmiin tutkimuksissa on tultu. Lisäksi kirjallisuussosiossa on käsitelty lumen ominaisuuksia ja sitä, miten eri tavoin lumimäärää voidaan mitata. Lumen läjityksen ympäristövaikutuksia on tutkittu Helsingin ja Tampereen ympäristökeskusten tekemien selvitysten sekä Ruotsissa tehtyjen tutkimusten perusteella. Kenttätutkimusosiossa (kuva 1) on analysoitu tutkittavien kaupunkien talvihoidon nykytila, luotu menetelmä lumitaseen arviointiin ja laskettu lumitase esimerkkitaduilla sekä vertailtu ylläpitokustannuksia lumilogistiikan osalta ja määritelty kasausta paikkojen fyysisiä ominaisuuksia.



Kuva 1. Tutkimuksen osa-alueet.

Helsingin, Jyväskylän, Tampereen, Turun ja Vantaan talvihoidon nykytila on kartoitettu haastatteluiden ja kaupunkien omien julkaisujen perusteella. Tutkimuksessa on esitelty talvihoidon toteutus, laatu- ja toimivuusvaatimukset, lumen vastaanottopaikat, talvihoidon kustannukset sekä talvihoidon suurimmat ongelmat.

Lumitaseen laskentamenetelmä esitetään ensin yleisesti, minkä jälkeen on lumitase laskettu esimerkkikaduille Helsingissä lumikertymien perusteella. Laskemilla on osoitettu, millainen lumimäärä kadulle mahtuu, ja millaisella lumikertymällä lunta joudutaan kuljettamaan katualueelta pois. Ylläpitokustannusvertailu lumilogistiikan osalta on laskettu lumitaselaskelmien perusteella ja perustuen ylläpitäjiltä saatuihin tietoihin keskiarvohinnoista ja työsuoritteista. Lumen kuljetuksesta lumen vastaanottopaikalle aiheutuneita kustannuksia ja kasvihuonepäästöjä on vertailtu vastaaviin lumen lähisiirron kustannuksiin ja aiheuttamiin päästöihin. Lumenkasauspaikkojen vaatimuksia ja fyysisiä ominaisuuksia on tutkittu haastattelujen perusteella sekä maastohavainnoin. Haastatteluja on tehty jokaisessa tutkimuksessa mukana olevissa kaupungissa. Maastohavainnot ovat silmämääräisiä havaintoja lumikasojen sijainnista, sulamisesta, roskaantumisesta ja jälkihoitotarpeesta. Maastohavaintoja on tehty Helsingissä sekä Jyväskylässä.

Tutkimusmenetelmät, aineiston keruu ja käsittely on kuvattu tarkemmin luvussa 3.

## **1.5 Tutkimuksen rajaus**

Tässä tutkimuksessa tutkitaan talvihoitoa pelkästään lumilogistiikan eli lumen poiston, lähisiirron, poiskuljettamisen ja läjityksen osalta. Liukkauden torjuntaa, hiekoitushiekan poistoa ja pölyn sidontaa eikä kuivatusjärjestelmää ei käsitellä. Lumitaselaskelmissa ja lumen lähiläjityspaikkojen suunnittelussa on keskitytty esikaupunkialueisiin, kaupunkien keskusta-alueet on rajattu pois. Ylläpitokustannusten vaihtoehtovertailuissa on vertailtu vain kuljetuskustannuksia, suunnittelu- tai rakennuskustannuksia ei ole otettu huomioon.

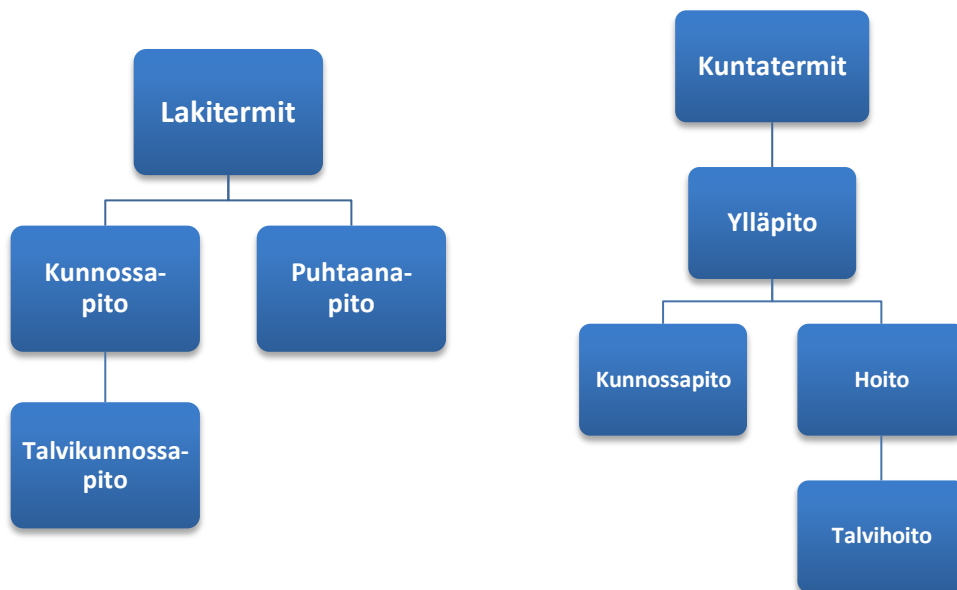
## 2 Kirjallisuustutkimus

### 2.1 Kadunpito

Suomessa kadunpitäjä eli kunta vastaa katujen ylläpidosta tilaamalla sen joko omilta tuotantoyksiköiltään tai yksityisinä alueurakoina. Kunta voi myös itse vastata ylläpidosta. Kunnat valmistelevat kadunpitoläpätökset ja myöntävät luvat katualueella tehtäville kaivutöille, aituksille ja tilapäisille liikennejärjestelyille. Kunnat organisoivat katujen ylläpitoa, määrittävät siihen liittyvien palveluiden ja tuotteiden laatutason saatavilla olevilla määrärahoilla sekä seuraavat rahojen käyttöä. Kadun ylläpito vastaa hyvin merkittävää osaa kadun elinkaaren kustannuksista. (2006 SKTY.)

#### 2.1.1 Lain ja kuntien käyttämät käsitteet

Kadunpitoon ja talvihoitoon liittyy useita käsitteitä, jotka vaihtelevat käyttäjän mukaan. Tässä kappaleessa on kuvattu näitä käsitteitä sekä laissa annettujen että kunnissa käytettyjen määritelmien mukaan. Tässä työssä käytetty käsitteistö mukailee kuntien käyttämää termistöä (kuva 2).



Kuva 2. Lain ja kuntien käyttämät termistöt

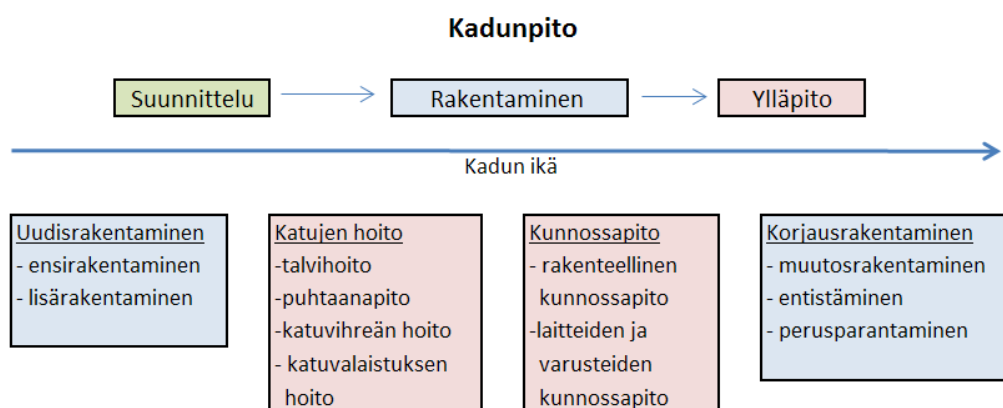
**Katualueella** tarkoitetaan maankäyttö- ja rakennuslain (MRL) mukaan asemakaavassa osoitettua katualuetta maanalaisine ja maanpäällisine sekä yläpuolisine johtoineen, laitteineen ja rakenteineen, jollei asemakaavassa ole toisin osoitettu.

**Kadunpidolla** tarkoitetaan MRL:n mukaan kadun suunnittelemista, rakentamista ja sen kunnossa- ja puhtaanapitoa sekä muita toimenpiteitä, jotka ovat tarpeen katualueen ja sen yläpuolisten ja alapuolisten johtojen, laitteiden ja rakenteiden yhteen sovittamiseksi.

Laki kadun ja eräiden yleisten alueiden kunnossa- ja puhtaanapidosta (669/1978) (myöhemmin kunnossapitolaki) määrittelee, että **kadun kunnossapito** käsittää ne toimenpiteet, joiden tarkoituksena on pitää katu liikenteen tarpeiden edellyttämässä tyydyttävässä kunnossa. Kunnossapidon laadun määräytymisessä otetaan huomioon kadun liikenteellinen merkitys, liikenteen määrä, säätila ja sen ennakoitavissa olevat muutokset, vuorokauden aika sekä eri liikennemuotojen tarpeet sekä terveellisyys, liikenneturvallisuus ja liikenteen esteettömyys. Lain mukaan kadun kunnossapitoon kuuluvat talvella ne toimenpiteet, jotka ovat tarpeellisia, jotta katu pysyy aiemmin kuvatussa kunnossa. Näitä toimenpiteitä ovat muun muassa lumen ja jään poistaminen, kadun pinnan pitäminen tasaisena, liukkauden torjuminen, liukkauden torjumiseen käytetyn kiviaineksen poistaminen sekä katuojien, sadevesikourujen ja -kaivojen avoinna pitäminen.

Kadun kunnossapito kuuluu kunnalle, mutta tontinomistajan velvollisuutena on lain mukaan pitää tontin kohdalla oleva jalkakäytävä käyttökelpoisena poistamalla jalankulkua haittaava lumi ja jää sekä huolehtia liukkauden torjumisesta ja siihen käytetyn kiviaineksen poistamisesta. Lisäksi jalkakäytävälle ja sen vierelle kertyneiden lumivallien poisto sekä jalkakäytävän viereisen katuojan ja sadevesikourun pitäminen lumettomana ja jäättömänä kuuluvat tontinomistajan vastuulle. Pyörätien sekä rakenteellisesti toisistaan erottamattoman jalankulku- ja pyörätien kunnossapito kuuluvat kunnalle. Kunta voi päättää kävelykadun, pihakadun ja muun erityistä liikennetarvetta palvelevan kadun kunnossapitovelvollisuuden jakautumisesta. Tontinomistajalle tuleva kunnossapitovelvollisuus ei saa kuitenkaan olla olennaisesti raskaampi kuin lain määräämä velvollisuus. (Laki kadun ja eräiden yleisten alueiden kunnossa- ja puhtaanapidosta 669/1978.)

Kunnossapitolaissa käytetyt käsitteet eivät vastaa niitä käsitteitä, joita kunnissa päivittäin käytetään. Kuvassa 3 on kuvattu Suomen kunnissa vakiintunutta termistöä kadunpidolle. Kuntakielessä katujen ylläpito käsittää sekä katujen hoidon että kunnossapidon.



Kuva 3. Kadunpito (muokattuna lähteestä: SKTY 2006)



### **2.1.2 Kaavoitus ja katusuunnittelu**

Kadut ja yleiset tiet eroavat toisistaan sekä geometrialtaan, juridisesti, teknisesti että toiminnallisesti. Lisäksi niiden suunnitteluprosesseissa on eroa. Katuja voi sijaita vain kaava-alueella ja siksi jo kaavoitusvaiheessa määräytyy suurin osa katusuunnittelun lähtökohdista. Katu ja siihen liittyvät tonttialueet suunnitellaan yhtenäisiksi kokonaisuuksiksi, kun taas yleiset tiet pyritään erottamaan erillisiksi liikennealueiksi. (Piela 1991.) Kaavoitusta säätelevät maankäyttö- ja rakennuslaki ja -asetus. Kaavatasoja on yhteensä neljä (SKTY 2003):

1. Valtakunnalliset alueiden käyttötavoitteet
2. Maakuntakaavoitus
3. Yleiskaavoitus
4. Asemakaavoitus

Valtioneuvosto asettaa valtakunnalliset alueiden käyttötavoitteet. Maakuntakaava on yleispiirteinen suunnitelma maakunnan alueidenkäytöstä. Siinä esitetään maakunnan yhdyskuntarakenteen ja alueiden käytön perusratkaisut keskipitkällä ja pitkällä aikavälillä. Maakuntakaavan laatii ja hyväksyy maakunnan liitto. (Ympäristöministeriö 2004.) Yleiskaavan ja asemakaavan laatiminen on kunnalle maankäyttö- ja rakennuslaissa määrätty velvoite. Kunta huolehtii sen laatimisesta ja pitämisestä ajan tasalla. Yleiskaavan tehtävä on ohjata maankäytön suunnittelua ja yhdyskuntarakennetta. (Ympäristöministeriö 2011.) Asemakaavassa määritellään alueen tuleva käyttö yksityiskohtaisemmin eli mitä saa rakentaa ja mihin, yleiskaavan ohjaamalla tavalla. Siinä osoitetaan muun muassa katualueen ja tonttien rajat, rakennusten sijainti, koko ja käyttötarkoitus. (Ympäristöministeriö 2012.)

Kaavoitusprosessi on usein erilaisten näkemysten ja tavoitteiden yhteensovittamista. Kaavoittajan lisäksi kaavoitukseen osallistuu useita eri tahoja, joilla on lain suoma oikeus osallistua kaavan valmisteluun ja esittää mielipiteensä. Osallisia ovat muun muassa asukkaat, maanomistajat, yritykset, viranomaiset, valtionviranomaiset sekä muut viranomaiset ja yhteisöt. Luottamusmieselimet, yleensä kunnanvaltuusto, päättävät kaavan hyväksymisestä. (SKTY 2003.)

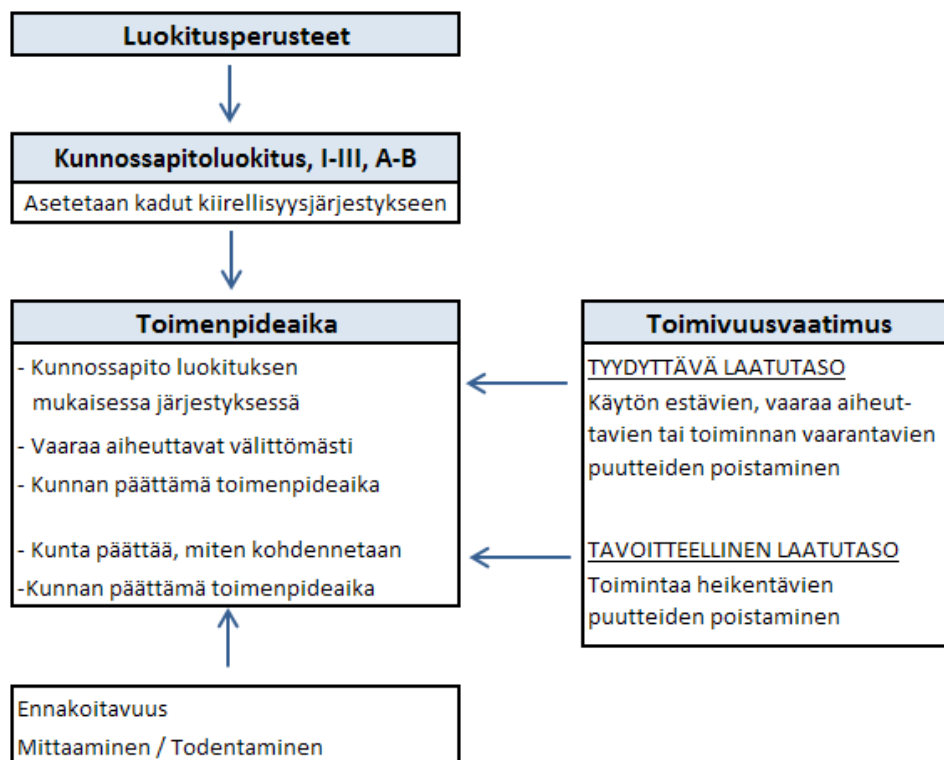
Katusuunnitelmat ja niihin liittyvät rakennussuunnitelmat laaditaan asemakaavan mukaisille katualueille. Ne sisältävät muun muassa tietoa katualueen liikennejärjestelyistä, kuivatusjärjestelyistä, pintamateriaaleista, kadun korkeusasemasta, valaistuksesta ja muista rakennelmista ja laitteista. (Turun kaupunki 2007.)

### **2.1.3 Laatu- ja toimivuusvaatimukset**

Kuntaliitto (2006) on ohjeen tehnyt katujen kunnossa- ja puhtaanapidon laatuvaatimuksista ja väylien luokittelusta. Kaduille ei ole annettu erikseen talvihoitoa koskevaa luo-

kitusta, vaan annettu ylläpitoluokitus on sama sekä hoidolle että kunnossapidolle. Kunta voi itse täsmentää omia erikoisvaatimuksiaan. Katujen ylläpitoluokitus perustuu liikenneverkon toiminnalliseen jäsentelyyn ja luokitukseen. Ajoradat suositellaan luokiteltavan kolmeen ja kevyen liikenteen reittien kahteen ylläpitoluokkaan. Luokille määritellään oma toimenpideaika ja toimivuusvaatimukset. Kuvassa 4 on esitetty nämä ylläpitoluokituksen ja laatutason perusteet. (Kuntaliitto 2008.)

Ylläpitoluokituksessa ja toimivuusvaatimusten määrittämisessä lähtökohtana on, että kunnossapitolaissa määrätty tyydyttävä taso on minimitaso ja sitä korkeampi laatutaso on tavoitteellinen laatutaso. Toimenpideaika ohjaa niiden laatuvaatimusten saavuttamiseen, jotka on asetettu tyydyttävälle laadulle tai tavoitteelliselle laadulle. Laatuvaatimukset koskevat esimerkiksi lumikerroksen ja polanteen paksuutta tai kadun pinnan kitkaa. (Kuntaliitto 2008.)



Kuva 4. Katujen kunnossapitoluokituksen ja laatutason perusteet (Kuntaliitto 2008)

Ensimmäiseen ylläpitoluokkaan kuuluvat yleensä pääkadut ja tärkeimmät joukkoliikennekadut. Toiseen luokkaan kuuluvat muut joukkoliikennekadut ja runsasliikenteiset kokoojakadut. Kolmanteen luokkaan kuuluvat yleensä kaikki muut kadut, kuten liikenteellisesti vähäisemmät kokoojakadut ja asuntokadut. Ensimmäisessä luokassa on tiukimmat laatuvaatimukset mm. talvihoidolle. (Helsingin kaupunki 2011b.)

### 2.1.4 Lumitilat katusuunnittelussa

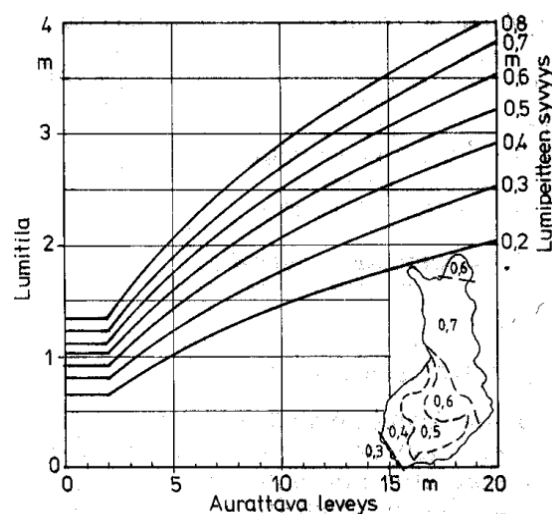
Toiminnallisesti kadut jaetaan poikkileikkauksen suunnittelussa seuraaviin katuluokkiin:

- pääkadut
- kokoojakadut
- tonttikadut

Kokoojakadut voidaan jakaa vielä paikallisiin ja alueellisiin kokoojakatuihin. Lisäksi luokitteluun voidaan ottaa mukaan moottoriväylät, mutta niiden suunnittelu tehdään yleensä yleisten teiden suunnitteluohjeiden mukaisesti. (Helsingin kaupunki 2001.)

Helsingin kaupungin katupoikkileikkausten suunnitteluohjeissa määritellään, että luiska- ja lumitilan tulisi olla ajoradan reunasta 1,0 metriä ja raitin reunasta 0,5 metriä. Pääkadusta on erikseen mainittu, että lumitila tulee määritellä tapauskohtaisesti. Jos lisäksi halutaan varmistaa, ettei lunta jouduta kuljettamaan pois, tulisi lumitilana käyttää 1,5 m tai kaavoittaa lumelle välivarastointia varten alueita, joiden maksimietäisyys on 50 m. Jos tontit ovat sovitettavissa katuun saumattomasti tai lumitila on muuten järjestetty, uusilla alueilla lumi- ja luiskatilojen varaamisesta katualueelle voidaan luopua. (Helsingin kaupunki 2001.) Katu 2002 Katusuunnittelun ja -rakentamisen ohjeet – kirjan mukaan lumitilaa tulee varata 1,0 metriä jokaista 3,5 – 4 metrin levyistä aurattavaa aluetta kohden. Myös tässä ohjeessa todetaan, että lumitilasta voidaan tinkiä keskusta-alueilla, jolloin on varauduttava lumen poisajoon.

Liikenne ja väylät II – käsikirjan (1988) mukaan lumitila mitoitetaan paikallisten meteorologisten tietojen perusteella mitoittavan lumipeitesyvyyden avulla. Jos meteorologisia tietoja ei ole saatavilla, voidaan lumitila karkeasti arvioida kuvan 5 mukaan. Käsikirjassa todetaan kuitenkin, että kuvasta saatavia arvoja on syytä suurentaa silloin, kun kauduilla on tonttiliittymiä tiheästi.



Kuva 5. Katualueen lumitilan mitoitus (RIL 1988).

## Lumitilan huomioonotto tiesuunnittelussa

Turunen (1991) on esittänyt menetelmän maanteiden lumitilojen mitoittamiseksi ja käsitellyt talvihoitoon vaikuttavia erityiskysymyksiä kuten meluesteiden ja siltojen vaikutusta. Tutkimuksessa on arvioitu lumitilan riittävyttä neljällä luokalla:

- Hyvään lumitilaan mahtuu kaikkina talvina tieltä aurattu lumi, eikä lumitilan kapeus rajoita aurasnopeutta.
- Tyydyttävään lumitilaan mahtuu kaikkina talvina tieltä aurattu lumi, mutta aurasnopeutta on paikoin rajattava.
- Välttävään lumitilaan mahtuu suurin osa talven lumesta, mutta runsaslumisina talvina lunta on kuljetettava pois.
- Tilapäiseen lumitilaan mahtuu yksittäisen rankan lumisateen (100 mm) lumi.

Kaavoittamattomilla alueilla ja väljissä oloissa tulisi aina pyrkiä hyvään lumitilaan. Taa-jaman keskusta-alueilla liikennealue on yleensä kapeampi, mutta silti tulisi pyrkiä tyydyttävään lumitilaan. Usein keskusta-alueilla lumitila on kuitenkin vain välttävä. Työssä todetaan, että lumitilaratkaisu, johon sopii varastoida koko talven lumi, on hyvä ratkaisu liikenneturvallisuuden kannalta. (Turunen 1991.)

Turusen mukaan hyvän lumitilan leveyden (L) erotus- ja keskikaistan sekä auraslumelle arkojen rakenteiden kohdalla tulisi olla:

$$L \text{ (m)} \geq 0,12 * V \text{ (km/h)}, \text{ missä } V = \text{aurausnopeus}$$

Liikennevirasto (2010) on päivittänyt tyydyttävän, välttävän ja tilapäisen lumitilan vaatimukset meluesteohjeeseen seuraavasti.

Tyydyttävän lumitilan leveyden tulisi olla:

Etelärannikolla (vyöhyke I)	$L = 0,4 * A$
Etelä – ja Keski-Suomen sisämaassa (vyöhyke II)	$L = 0,55 * A$ ja
Pohjois-Suomessa (vyöhyke III)	$L = 0,7 * A.$

A on tässä sen alueen leveys, josta lumi aurataan kyseessä olevaan lumitilaan.

Välttävän lumitilan leveyden tulisi olla:

Etelärannikolla (vyöhyke I)	$L = 0,25 * A$
Etelä – ja Keski-Suomen sisämaassa (vyöhyke II)	$L = 0,4 * A$ ja
Pohjois-Suomessa (vyöhyke III)	$L = 0,5 * A.$

Tilapäisen lumitilan leveys tulee olla  $L = 0,15 * A$ , kuitenkin vähintään 0,5 metriä.

## 2.2 Lumen ominaisuudet

Lumen ominaisuudet vaikuttavat siihen, kuinka paljon lunta katualueelle kertyy, ja miten lumen olomuoto muuttuu ajan mukana sekä silloin, kun lunta siirretään ja kuljeteaan.

### 2.2.1 Lumen vesi-arvo ja tiheys

Lumen vesi-arvo kuvaa vesikerroksen paksuutta, joka syntyy, kun lunta sulatetaan. Se ilmoitetaan usein millimetreinä tai massana (kg) neliömetriä kohden. Lumen vesi-arvo määritellään lumilinjamittauksilla. Lumilinja on 2 - 4 kilometriä pitkä reitti, joka kattaa edustavasti paikkakunnan eri maastotyyppit. Siihen kuuluu yleensä 80 mittasauvalla tehtyä lumen syvyysmittausta sekä kahdeksan lumen vesi-arvon määrittämiseksi tehtävää punnitusta. (Suomen ympäristökeskus 2011.)

Vesi-arvo voidaan laskea kaavasta (1):

$$SWE = \frac{\rho_s h_s}{100}, \quad (1)$$

missä SWE on lumen vesi-arvo (mm),  $\rho_s$  on lumen tiheys ( $\text{kg/m}^3$ ) ja  $h_s$  on lumen syvyys (cm) (Mustonen 1986).

Lumen vesi-arvo ei ole suoraan verrannollinen lumikerroksen paksuuteen. Keväällä maaliskuun ja huhtikuun vaihteessa lumella on usein suurin vesi-arvo, mutta lumipeitteen paksuus ei muutu, vaikka vesi-arvo kasvaa. Vesi-arvo voi jopa kaksinkertaistua pakkautumisen ja tiivistymisen vuoksi. (Keski-Suomen ELY 2012.)

### Lumen tiheys

Lumen tiheys vaihtelee sijainnin, lumen käsittelyn ja ajankohdan mukaan. Vastasataneen lumentiheys on noin  $100 \text{ kg/m}^3$ , mutta tähtimäisinä kiteinä tyynellä säällä sataneen lumen tiheys voi olla alhaisempi, joskus jopa  $20 \text{ kg/m}^3$  (Mustonen 1986). Taulukossa 1 on esitetty Calgaryssa, Kanadassa tehdyn tutkimuksen lumentiheysarvoja.

Taulukko 1. Lumen tiheysarvoja (muokattuna lähteestä Ho et al. C 2005)

Mittauspaikka	Lumentiheys ( $\text{kg/m}^3$ )	
	Tiheyden vaihtelu	Keskiarvo
Aurausvalli	300–600	490
Autotien piennar	180–340	220
Jalkakäytävän piennar	160–320	240
Aukea alue	110–340	210

Myös Samposalo (2007) on diplomityössään mitannut lumen tiheydelle Espoossa samansuuntaisia arvoja kuin Ho et. al (2005). Samposalo on lisäksi todennut, että lumen tiheydet koskemattomalla lumella ja jalkakäytävän pientareilla kasvoivat talven edetessä ja maksimitiheydet saavutettiin aivan sulannan loppuvaiheessa maaliskuussa. Autoteiden pientareissa suurimmat tiheysarvot mitattiin tammikuussa eivätkä ne juurikaan muuttuneet talven aikana. Aurattaessa lumen rakenne muuttuu ja tiivistettäessä lumen tiheys kasvaa.

Ruotsissa on tutkittu, että koskemattoman lumen tiheys on yleensä noin 200–300 kg/m<sup>3</sup>, kun taas asuntoalueilla lumivallista mitattu lumen tiheys vaihtelee 200–700 kg/m<sup>3</sup> välillä. Lisäksi on mitattu, että luonnontilaisella alueella lumen maksimitiheys keväisin ennen sulamisen alkua voi olla jopa 500 kg/m<sup>3</sup> ja lumikasoissa tiheys voi ennen sulamista olla jopa 700 kg/m<sup>3</sup>. (Semadeni-Davies 1999; Semadeni-Davies & Bengtsson 2000.)

Taulukossa 2 on esitetty Ruotsin hydrologian ja meteorologian instituutin (SMHI 1991) määritelmät lumen olomuodon ja tiheyden suhteelle.

*Taulukko 2. Lumen olomuodot ja tiheys (SMHI 1991).*

Lumen olomuoto	Lumentiheys (kg/m <sup>3</sup> )
Hyvin pöyheä lumi	30
Vastasatanut pöyheä lumi	30–100
Märkä uusilumi	100–200
Tuulen pakkaama uusi lumi	200
Pakkautunut lopputalven lumi	200–300
Kevätlumi sulamisen loppuvaiheessa	400

Simosen et al. (2011) Aalto yliopistossa tekemien mittauksien mukaan koskemattoman lumen tiheys on noin 220 kg/m<sup>3</sup> ja aurausvallissa olevan lumen noin 400 kg/m<sup>3</sup>. Lavalle lumilingolla lingotun lumen tiheydeksi saatiin noin 600 kg/m<sup>3</sup>.

## 2.2.2 Lumisadannan määrittely

Ilmastokeskus ei erikseen mittaa lumisateen määrää senttimetreinä, vaan lumisateen määrää voidaan arvioida joko sademäärästä, lumen syvyyden maksimiarvosta, lumen-syvyyden muutoksesta tai vesi-arvomittauksilla. Kaikkiin mittaustapoihin liittyy epätarkkuutta. Lumensyvyys eli lumihangon paksuus tietyistä kohdista, voidaan joko mitata mittatikulla tai automaattimittareilla. Lumensyvyys on hankalasti mitattava suure, sillä mittaustuloksiin vaikuttaa muun muassa tuulen ja maastoesteiden vaikutuksesta aiheutuva kinostuminen. Maassa olevan lumen olomuoto muuttuu myös lämpötilavaihteluiden vaikutuksesta ja lisäksi lunta myös haihtuu. (Ylhäisi 2012.) Talven suurin lumensyvyys ei siis kerro sitä, kuinka paljon lunta talven aikana on satanut. Lumensyvyyden muutokset kuvaavat paremmin sitä, kuinka paljon lumipeite on kasvanut tai vähentynyt.

Vesiarvomittauksilla, jotka yleensä tehdään lumilinjamittauksina, saadaan tarkin tulos lumisateen määrästä, mutta epätarkkuutta aiheuttavat mittauspisteiden hajanaisuus sekä puutteellinen pitkän aikavälin tilastointi (sähköposti, Ylhäisi 24.4.2012).

Kun sademäärästä arvioidaan lumisateen määrää, voidaan käyttää nyrkkisääntöä, jonka mukaan yksi senttimetri lunta vastaa yhtä millimetriä vettä. Sademillimetrin muuttaminen lumisentiksi ei aina pidä paikkaansa lumen ominaisuuksien vaihtelun vuoksi. Ilmatieteen laitoksen mukaan yhden millimetrin sääntö pätee vain juuri sataneelle lumelle. Ilmatieteen laitoksen Liikennevirastolle tuottamassa Talvikunnossapidon sääraportissa lumisadesummat kuitenkin lasketaan sadesummasta nyrkkisäännön perusteella silloin, kun vuorokauden keskilämpötila on alle 0,6 astetta (suullinen tiedonanto, Bernström 2.5.2012).

Ylhäisi (2012) on tutkinut, miten lumensyvyyyden muutoksia voidaan arvioida pelkästään mitattavan lämpötilan sekä sademäärän avulla. Tutkimuksen mukaan nyrkkisääntö yksi millimetri sadetta on yksi senttimetri lunta toimii melko hyvin useimmissa tapauksissa, sillä eniten havaittiin tapauksia, jolloin yksi millimetri vastasi korkeintaan yhtä senttimetriä lunta. Kuitenkin silloin, kun lunta satoi vähän (alle 3mm) saattoi suhdeluku cm / mm olla suurempi kuin yksi. Lämpötilan suhteen suhdeluku käyttäytyi tasaisemmin, suuria suhdelukuja ilmeni sekä pienellä pakkasella kuin hyvin kylminäkin päivinä.

### **2.2.3 Talven rankkuuden määrittely**

Lumisadanta ei yksinään anna oikeaa kuvaa siitä, millainen talvi on ollut talvihoidon, aurauksen ja lumen poiskuljetuksen osalta varsinkin Etelä-Suomessa. Sillä, onko lumi-peite maassa yhtenäisesti koko talven ajan vai sulaako se välissä pois, on merkitystä talven rankkuuteen. Helsingin rakennusviraston katuosasto on määritellyt talven rankkuutta kuvaamaan lumenkuljetustarve- ja auraustarveindeksit (SKTY 2006). Mitä suurempi indeksi on, sitä rankempi talvi on ylläpidon kannalta. Indeksien perusteella voidaan perustella määrärahojenylitys (suullinen tiedonanto, Alatyttö 17.8.2012).

#### **Lumen kuljetustarveindeksi**

Lumenkuljetustarveindeksi on suoraan verrannollinen lumikerroksen syvyyden lisääntymiseen talven aikana. Kutakin lumensyvyyyden lisääntymistä painotetaan sen hetkisel- lä lumikerroksen syvyydellä eli mitä korkeampaan hankeen lumi sataa, sen todennäköi- semmin se joudutaan kuljettamaan pois. Indeksi on myös suoraan verrannollinen niiden päivien lukumäärään, joina lumikerros ohentuu eli mitä hitaammin lumi sulaa, sitä enemmän on tarvetta kuljettaa sitä pois.

Painotettu lumikertymä PK saadaan kaavasta (2):

$$PK = \sum_{n=1.11.}^{30.4.} s_n * K_n, \quad (2)$$

jossa tietyn päivän n lumikertymä on  $K_n$  ja lumen syvyys on  $s_n$ . Lumikertymä riippuu lumen syvyydestä seuraavasti:

$$\begin{aligned} K_n &= s_n - s_{n-1} && \text{jos } s_n - s_{n-1} > 0 \\ K_n &= 0 && \text{jos } s_n - s_{n-1} \leq 0 \end{aligned}$$

Sulamispäivien L lukumäärä saadaan kaavasta (3):

$$L = \sum_{n=1.11.}^{30.4.} L_n, \quad (3)$$

jossa sulamispäivää kuvaava muuttuja  $L_n$  riippuu lumen syvyydestä seuraavasti:

$$\begin{aligned} L_n &= 1 && \text{jos } s_n - s_{n-1} < 0 \\ L_n &= 0 && \text{jos } s_n - s_{n-1} \geq 0 \end{aligned}$$

Tietyn talvikauden x Lumenkuljetustarvetta kuvaa nyt luku:  $PK_x * L_x$ . Vuosien 1992–1999 keskiarvosta on saatu normaalitalven luku 108 782.

Talvikauden x lumenkuljetustarveindeksi saadaan nyt kaavasta (4):

$$I_x = 100 * PL_x * L_x / 108782 \quad (4)$$

### Auraustarveindeksi

Auraustarveindeksi on suoraan verrannollinen talven kokonaislumenkertymään sekä niiden päivien lukumäärään, jolloin lumikerroksen syvyys lisääntyy vähintään kolme senttimetriä. Kumpaaakin ominaisuutta painotetaan yhtä paljon.

Kokonaislumikertymä K saadaan kaavasta (5):

$$K = \sum_{n=1.11.}^{30.4.} K_n, \quad (5)$$

jossa tietyn päivän n lumikertymä  $K_n$  on riippuvainen lumensyvyydestä seuraavasti:

$$\begin{aligned} K_n &= s_n - s_{n-1} && \text{jos } s_n - s_{n-1} > 0 \\ K_n &= 0 && \text{jos } s_n - s_{n-1} \leq 0 \end{aligned}$$

Pyrypäivien lukumäärä P saadaan kaavasta (6):



$$P = \sum_{n=1.11.}^{30.4.} P_n, \quad (6)$$

jossa pyrypäivää kuvaava muuttuja  $P_n$  on riippuvainen lumen syvyydestä seuraavasti:

$$\begin{aligned} P_n &= 1 && \text{jos } s_n - s_{n-1} > 2 \\ P_n &= 0 && \text{jos } s_n - s_{n-1} \leq 2 \end{aligned}$$

Vuosien 1992–1999 keskiarvoista lasketut normaalitalven arvot kokonaislumikertymälle ja pyrypäivien lukumäärälle ovat  $K = 110$  ja  $P = 16$ . Talvikauden  $x$  auraustarveindeksi saadaan silloin kaavasta (7):

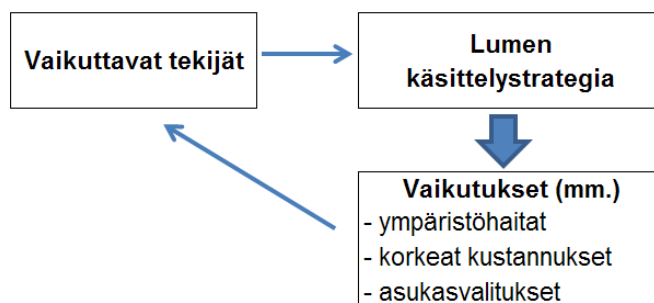
$$I_x = 100 * (K_x / 110 + P_x / 16) / 2 \quad (7)$$

## 2.3 Lumen käsittely

### 2.3.1 Talvihoidon kehittäminen kaupungeissa

Talvihoidon järjestämisen päätavoite on pitää kadut laatuvaatimusten mukaisina mahdollisimman pienin kustannuksin. Lumen poiston ja kuljetuksen laatu- ja toimenpidevaatimukset perustuvat sekä poliittisiin että taloudellisiin näkökulmiin. Poliittisista syistä kaikkien katujen vaatimusten tulisi olla samat. Lumi tulisi poistaa kaduilta välittömästi, jotta asukkaille ja liiketoiminnoille ei aiheutuisi vaivaa eikä kustannuksia. Kuitenkin lumen poiston ja käsittelyn kustannukset yleensä vähenevät, kun toimenpiderajoja nostetaan. Tasapainoilu lisääntyneen haitan ja toimenpiderajojen nostolla saatujen kustannussäästöjen suhteen on tärkeä herkkyysanalyysien aihe. (Campell 1995.)

Lumen käsittelystrategiaan eli käsittelysuunnitelmaan vaikuttavat useat asiat, kuten ympäristöpolitiikka, talous, eri lait ja säännöt sekä asukkaiden hyväksyntä. Lumen käsittelystrategian toteuttaminen taas aiheuttaa useita vaikutuksia kuten ympäristön vahingoittumista, kuormitusta kunnan talouteen ja asukkaiden valitusta. Toisaalta strategian aiheuttamat vaikutukset voivat pakottaa kunnan päättäjät kehittämään lumen käsittelystrategiaa (kuva 6). Lumen käsittelystrategian kehittäminen vaatii usean eri osapuolen kuten vesihuolto- ja liikenneinsinöörien, kuljetusyritysten, ympäristökeskusten ja asukkaiden mukanaoloa (Reinosdotter 2007).



Kuva 6. Lumen käsittelystrategian lähtökohta (muokattuna lähteestä Reinosdotter 2007)

Ruotsissa eivät nykyiset lumen käsittelyyn liittyvät toimintatavat juuri eroa kymmenen vuoden takaisesta. Lumi poistetaan kaduilta perinteisin keinoin auroilla, tiehöylillä ja traktoreilla. Yhä useampi kaupunki on kuitenkin lisännyt katulämmityksen käyttöä sekä keskustoissa että kevyen liikenteen väylillä. Keskitettyjen lumenvastaanottoapaikkojen lisäksi useilla kunnilla on käytössä lähisiirtopaikkoja asuinalueilla. Useimmissa tapauksissa strategiana on käyttää lähimpänä olevaa läjityspaikkaa. (Reinosdotter 2007.)

Ruotsissa ympäristönsuojeluviranomainen on vuonna 1997 esittänyt lumenerottelustrategia, jossa erotellaan lumi voimakkaasti saastuneeseen ja vähemmän saastuneeseen

lumeen. Strategian mukaan kaupunkialueet tulisi jakaa lumen laadun mukaan alueisiin. Voimakkaasti saastunut lumi tulisi kuljettaa lumenvastaanottopaikoille, jotka on asianmukaisesti suunniteltu, sijoitettu ja hoidettu, minimoidakseen negatiiviset ympäristövaikutukset. Reinosdotterin et al (2006) tutkimuksessa lumen laadun vertailua on tehty huleveden laatukriteerien perusteella ja erilaisille ympäristöille, joihin sulamisvesiä johdetaan. Tutkimuksessa todettiin, että lumen laatu vaihtelee sekä sijainnin että ajan suhteen. Tutkimuksessa suositellaan käsiteltävän lunta eri tavoin sen mukaan millaiset liikennemäärät alueella ovat. Taulukossa 3 on esitetty tutkimuksessa ehdotetut toimenpiteet.

*Taulukko 3. Lumenkäsittelytavat liikennemäärien mukaan (Reinosdotter et. al. 2006)*

Keskivuorokausiliikenne (KVL)	< 5 000	5 000 – 10 000	10 000 – 20 000	> 20 000
<b>Suosittelut käsittely</b>	Erityisiä toimenpiteitä ei tarvita. Lumet voi läjittää lähiläjityspaikoille ja vesistöön.	Lumet tulisi läjittää lumenvastaanottopaikoille tai lähiläjitysalueille.	Lumi tulisi läjittää lumenvastaanottopaikoille. Sulamisvesiä ei tule johtaa suoraan ympäristöön.	Lumi tulee poistaa katualueelta ja sijoittaa lumenvastaanottopaikalle, jossa sulamisvedet voidaan käsitellä.

## Sektorisuunnittelu

Montréalissa, Kanadassa on tehostettu lumilogistiikkaa jakamalla kaupunki useaan eri sektoriin. Montréal on jaettu noin 60 sektoriin, joista jokaiselle sektorille on osoitettu oma lumenvastaanottopaikka, johon lumet sektorilta kuljetetaan (kuva 7). Lumenvastaanottopaikkoja on 20. Sektorin koko ja muoto vaikuttavat valintoihin, mutta myös maantieteelliset, taloudelliset ja poliittiset rajoitukset tulee ottaa huomioon. Lumenkuljetuskustannuksille on kehitetty laskentamenetelmä, jonka perusteella määritellään, millaisiin sektoreihin kaupunki kannattaa jakaa, ja miltä sektorilta kannattaa kuljettaa lunta tietyille lumenvastaanottopaikalle. Laskentamenetelmä on kiinteä osa paikkatietojärjestelmään (GIS) rakennettua päätöstukijärjestelmää (DDS, decision support system). Päätöstukijärjestelmä tuottaa erilaisia ratkaisuja ja antaa suunnitella interaktiivisesti sektorit ottaen huomioon hankalat rajoitteet. (Labelle et al. 2002.)



Kuva 7. Montrealin lumenvastaanottopaikat ja sektorijako

Kuljetuskustannuksiin vaikuttavat sekä muuttuvat että kiinteät kustannukset. Muuttuvat kustannukset ovat riippuvaisia lumen määrästä sekä kuljetusetäisyydestä. Niistä merkityksellisimpiä ovat lumen kuljettamisesta ja lumen käsittelystä vastaanottopaikalla johdettavat kustannukset. Kiinteät kustannukset taas muodostuvat kalustosta ja muusta kiinteästä omaisuudesta, lähinnä tarvittavien kuorma-autojen määrästä. (Labelle et al. 2002.)

Pienet maantieteelliset **alueet** on siis ryhmitelty **sektoreiksi** ja määräämällä jokaiselle **sektorille** oma **vastaanottoalue**. Alueet määritellään, ja jokaisen alueen katujen pituus, vuosittainen lumen kertymä ( $m^3$ ) ja kaukaisin kuljetusmatka sektorin sisällä tulee olla tiedossa. Myös vastaanottoalueiden tulee olla määriteltyjä, ja jokaisella lumenvastaanottoalueen vastaanottokapasiteetti sekä yhden tunnin että yhden vuoden aikana tulee olla tiedossa. Palvelutaso määritellään suurimman sektorin suhteen, jotta jokainen sektori voidaan puhdistaa lumesta määrätyn ajan sisällä. Käytettävissä olevan avaruskaluston määrä määritellään siten, että jokaisella sektorilla täytyy olla yksi lumilinko. Kuorma-auton lavakoon ( $m^3$ ) ja keskinopeuden tulee olla tiedossa. (Labelle et al. 2002.) Laskentaparametrit ja –tavat on esitetty liitteessä 1.

### 2.3.2 Lumen läjitys ja sen vaikutukset

Lumi voidaan läjittää joko virallisille lumen vastaanottopaikoille tai lähisiirtopaikoille (kuva 8). Lähisiirtopaikat ovat yleensä pieniä läjityspaikkoja, jotka sijaitsevat keskustassa tai asuinalueiden läheisyydessä. Keskitetyt lumen vastaanottopaikat ovat taas suurempia yleensä keskusta-alueiden ulkopuolella sijaitsevia alueita, joille tuodaan lunta koko kunnan alueelta. Vastaanottopaikat voivat sijaita joko maalla tai vesistössä. (Reinosdotter 2007.)



Kuva 8. Lähisiirtopaikka ja lumen vastaanottopaikka (Reinosdotter 2007).

Lunta ei luokitella jätteeksi eikä kunnilla siten ole lakisääteistä velvoitetta lumenvastaanottoalueiden järjestämiseksi. Käytännössä kuitenkin lähes jokaisessa kunnassa on kunnan järjestämiä ja ylläpitämiä lumenvastaanottoalueita sekä kaupungin yleisten alueiden että kiinteistöjen piha-alueiden lumia varten. (Tampereen kaupunki 2011.) Lumen läjitys ei Suomessa yleensä vaadi virallista ympäristölupaa, mutta kunnat voivat antaa rajoituksia omilla ympäristönsuojelumääräyksillään (Helsingin kaupunki 2010a). Määräyksissä määritellään usein, ettei lumen vastaanottopaikkaa saa sijoittaa pohjavesialueille tai ranta-alueille. Vastaanottopaikat on myös sijoitettava ja niistä on huolehdittava siten, ettei niiden toiminnasta aiheudu ympäristön pilaantumista, kohtuutonta haittaa asutukselle tai muulle maankäytölle. Sulamisvedet eivät saa aiheuttaa roskaantumista, eikä vettymis- tai muuta ympäristöhaittaa naapurikiinteistöille. Jos lumenvastaanottopaikka sijaitsee maanvastaanottopaikan yhteydessä, on ympäristölupa oltava.

#### Lumenvastaanottopaikkojen ympäristövaikutukset

Lumenvastaanottopaikkojen ympäristövaikutuksiin lasketaan yleensä lumen kuljetuksesta aiheutuva melu ja päästöt ilmaan. Lisäksi lumenkuljettaminen aiheuttaa asuinalueilla turvattomuuden tunnetta. Vastaanottopaikoilla lumen käsittely aiheuttaa liikenteestä ja työkoneista johtuvia päästöjä, minkä lisäksi keväisin lumikasan sulaessa tapahtuu pölyämistä. (Helsingin kaupunki 2010a.)

Suomen lainsäädännössä ei ole annettu suoraan suurimpia hyväksyttäviä raja-arvoja lumessa esiintyville haitta- tai muille pitoisuuksille. Lumen laatua ja sen aiheuttamia ympäristövaikutuksia lumenvastaanottopaikoilla voidaan kuitenkin tutkia kahden val-

tioneuvoston antaman asetuksen perusteella. Asetusta 214/2007 maaperän pilaantuneisuuden ja puhdistustarpeen arvioinnista voidaan käyttää lumenvastaanottoa paikkojen maaperän pitoisuuksien arvioimiseen, ja sulamisvesien laatua taas voi verrata asetuksessa 1022/2006 annettuihin kansallisiin raja-arvoihin haitallisten aineiden pitoisuuksista. (Helsingin kaupunki 2010a.)

Roskaantumista määrittelee jätelaissa (1072/1993) annettu roskaamiskielto. Sen mukaan ympäristöön ei saa jättää roskaa, likaa tai käytöstä poistettua konetta, laitetta, ajoneuvoa, alusta tai muuta esinettä siten, että siitä voi aiheutua vaaraa tai haittaa terveydelle, epäsiisteyttä, maiseman rumentumista, viihtyisyyden vähentymistä tai niihin verrattavaa muuta haittaa tai vaaraa.

Lumi on yleisesti ottaen hyvin puhdasta, kun se sataa maahan. Kaupunkialueilla lumen laatuun vaikuttavat liikenteen päästöt, liukkauden torjuntaan käytettävät suolat ja hiekoitushiekka, lemmikkien jätökset sekä roskat. Helsingissä on Helsingin rakennusviraston toimeksiannosta tutkittu 2000-luvulla laajasti lumenvastaanottoa paikkojen ympäristövaikutuksia. Lumen vastaanottoa paikkojen lumesta, sulamisvedestä, maaperästä, hiekoitushiekasta sekä sulatusaltaiden pohjasta kertyneestä materiaalista on tehty kemiallisia analyysijä. (Helsingin kaupunki 2010a.)

Helsingin kaupungin (2010a) tutkimusten perusteella lumenvastaanottoa paikoille kulkeutuvan lumen haitta-ainepitoisuudet ovat niin pieniä (kuva 9), ettei niistä voida katsoa aiheutuvan ympäristölle haittaa. Vastaanottoa paikoilta purkautuvan sulamisveden laatu on yleisesti melko hyvä. Vastaanottoa viin kaupunkipuroihin ja ojiin syntyy suurin kuormitus kloridista ja typestä. Kuitenkin merkittävä osa lumen sisältämistä kiinto- ja haitta-aineista jää vastaanottoa paikan maaperään ja purkuoan pohjasedimentteihin. (Salla et al. 2012.) Suurin haitta aiheutuu roskaamisesta (Helsingin kaupunki 2010a). Lumen mukana kulkeutuu jätettä, kuten hiekoitussepeä ja roskaa, joista osa kulkeutuu vastaanotto-alueen ulkopuolelle pintavesien ja tuulen mukana (Salla et al. 2012).

	Maununneva		Malmi		Herttoniemi			STM
	10.4.2002	20.4.2004	10.4.2002	20.4.2004	11.4.2002	20.4.2004	ka.	461/2000
Lumi								
pH	7	6,9	7,1	7,3	6,8	7,2	7,05	6,5-9,5
Sähkönjoht. mS/m	3,4	3,9	4,1	5,5	2,5	6,8	4,366667	250
Tilavuuspaino g/l	767	540	825	560	825	560	679,5	
Kiintoaine mg/l	28	9	10	3	20	8	13	
Kok N mg/l	0,2	0,4	0,4	0,12	0,3	0,19	0,268333	
Nitraatti-N mg/l	<0,1	0,1	<0,1	<0,1	<0,1	0,1	0,1	11
Kok P mg/l	0,05	0,04	0,06	0,01	0,05	0,02	0,038333	
Kloridi mg/l	0,8	1,9	1,2	1,9	1	2,1	1,483333	250
Sulfaatti mg/l	<0,5	<0,5	0,6	1,9	0,5	<0,5	0,75	250
TOC mg/l	1,9	1,4	1,7	1	2,3	1,1	1,566667	
Kolibak mpn/100ml	-	-	-	-	-	-	-	0
Escheria coli mpn/100ml	-	-	-	-	-	-	-	0
Kadmium µg/l	<0,2	<0,2	0,28	<0,2	<0,2	<0,2	0,28	5
Kupari µg/l	4	6,3	3	4,4	4	4,2	4,316667	2000
Lyijy µg/l	<4	<4	<4	<4	<4	<4	<4	10
Sinkki µg/l	<20	<20	20	<20	<20	<20	20	

Kuva 9. Helsingissä mitattuja lumen analyysituloksia verrattuina STM:n talousvesiasetuksen arvoihin (Helsingin kaupunki 2010a)

Vaikutukset ovat suuremmat läjitettäessä lunta mereen, sillä kaikki haitalliset aineet joutuvat suoraan mereen ja kuormitus leviää meriympäristössä virtausten mukana laajalle alueelle. Kuitenkin lumenkaadon kuormitusvaikutuksia meriympäristöön on vaikea erottaa muusta kuormituksesta. Meriveden kloridi- ja typpipitoisuudet ovat luonnostaan makeaa vettä suuremmat, joten lumen sisältämällä pitoisuuksilla ei ole vaikuttavaa merkitystä meriympäristöön. Merkittävin ympäristövaikutus myös mereen kaadossa on roskaantuminen ja sen mahdollisesti aiheuttama ympäristön pilaantuminen. Roskaantumista ei mereen kaadossa pystytä hallitsemaan samalla tavalla kuin maavastanottopaikoilla. (Salla et al. 2012.)

Ympäristövaikutusten vähentämiseksi ja estämiseksi Helsingissä on ehdotettu merivastanottopaikkojen korvaamista maavastanottopaikoilla tai erottamalla jäte lumesta esimerkiksi sulattamalla lumi altaissa ennen mereen kaatamista. Lisäksi on ehdotettu roskien siivoamista vastaanottopaikoilla nykyistä useammin ja huolellisemmin. Roskaantumista tulisi myös tarkkailla vastaanottoalueiden ulkopuolella. Maanvastanottopaikkojen hulevesiviemärintiä ei suositella, sillä se nopeuttaa lumen sisältämien haitta-aineiden kulkeutumista kaupunkipuroihin. Avouomissa hienoinen sedimentoituu purkuojien pohjille, kun taas viemäröinnin kautta se kulkeutuu helpommin. (Salla et al. 2012.)

Tampereella Aarikkalan lumenvastanottopaikka sijaitsee pohjavesialueella ja toinen lumenvastanottopaikka Lielahdessa sijaitsee pohjavesialueen läheisyydessä. Alueiden pintavesiä on tutkittu fosforin, kiintoaineiden, typen ja pH:n osalta. Saatuja arvoja on verrattu Samposalon (2007) diplomityössä lumesta mitattuihin arvoihin. Aarikkalassa pintaveden pitoisuudet kokonaisfosforin ja kiintoaineen osalta olivat alhaisempia kuin koskemattomien alueiden lumesta tutkitut pitoisuudet. Kokonaistypen ja pH:n osalta pitoisuudet vastasivat jalkakäytävän pientareen lumesta mitattuja arvoja. Sähkönjohtavuuden osalta pitoisuudet olivat kaksinkertaiset verrattuna autotien pientareelta lumesta otettuihin näytteisiin. Lielahden lumenvastanottoalueen pintavedet on aiemmin johdettu öljynerottimen kautta Näsijärven Lielahteen. Vuoden 2012 alussa alueelle valmistui biopidätysallas, jonka kautta nykyään sulamisvedet ohjataan Näsijärveen. Alueen pintavesien kokonaisfosfori- ja kiintoainepitoisuudet vastaavat koskemattoman alueen lumesta mitattuja pitoisuuksia. Kokonaistypen osalta pitoisuudet vastaavat jalkakäytävän pientareen lumesta mitattuja arvoja. Sähkönjohtavuuden ja pH:n osalta pitoisuudet olivat verrattavissa autotien pientareen lumesta tutkittuihin näytteisiin. Pintavesitulokset olivat tyypillisiä ja jopa alhaisempia kuin Samposalon diplomityössä lumesta mitatut tulokset. (Tampereen kaupunki 2011.)

## Lähiläjäityksen vaikutukset

Lähiläjäityksellä pyritään vähentämään lumen kuljetuksesta aiheutuvia kustannuksia ja ympäristöhaittoja. Reinosdotter et al. (2003) on tutkimuksessaan vertaillut lumen lähisiirtopaikkojen vaikutuksia keskitettyihin lumenvastaanottopaikkoihin erityisesti Luulajan kaupungissa. Tutkimus keskittyi lumen kuljetuksesta aiheutuviin päästöihin, kuljetuksen kustannuksiin, ylläpitoon, paikallisiin vaikutuksiin, maankäyttöön, ympäristövaikutuksiin ja mahdollisiin onnettomuusriskeihin. Reinosdotterin et al. (2003) mukaan lumen lähisiirtopaikkojen ja lumenvastaanottopaikkojen vertailussa ja arvioinnissa tulee ottaa huomioon seuraavat asiat:

- kustannukset
- yhteisön ja asukkaiden hyväksyntä
- organisointi
- (järjestys)säännöt
- EU:n vesidirektiivit
- kansalliset säännöt
- paikallinen politiikka

Luulajassa tutkittiin neljän eri lumensijoitusvaihtoehdon avulla lumen kuljetuksesta aiheutuneita hiilidioksidi- ( $\text{CO}_2$ ), typpioksidi- ( $\text{NO}_x$ ), ja hiilimonoksidipäästöjä (CO) sekä kustannuksia. Lumensijoitusvaihtoehdot:

1. Kaikki lumi puhdistetaan kaduilta ja viedään kuorma-autoilla keskitetylle lumenvastaanottopaikalle
2. Lumi sijoitetaan ojiin teiden varsille ja ylijäänyt lumi kuljetetaan kuorma-autoilla lumenvastaanottopaikalle
3. Kaikki lumi kuljetetaan traktoreilla lähimmälle lumen lähisiirtopaikalle
4. Lumi varastoidaan ojiin ja ylijäämälumet kuljetetaan lähimmälle lumen lähisiirtopaikalle (Reinosdotter et al. 2003.)

Tulokset on esitetty taulukossa 4.

Taulukko 4. Kustannusten ja päästövaikutusten vertailu (Reinosdotter et al 2003).

	Vastaanot- topaikat	Vastaanotto- paikat + ojat	Lähisiirtopaikat	Lähisiirtopaikat + ojat
<i>CO<sub>2</sub>-päästöt (kg/vuosi)</i>	54 300	49 500	32 100	29 200
<i>NO<sub>x</sub>-päästöt (kg/vuosi)</i>	350	320	190	170
<i>CO-päästöt (kg/vuosi)</i>	45	44	27	25
<i>Vuosittaiset kuljetus- kustannukset (€)</i>	270 000	250 000	58 000	53 000



Reinosdotterin et al (2003) tutkimuksessa selvisi, että käyttämällä ojia lumensijoituspaikkana voidaan vähentää kuljetuskustannuksia lumen-vastaanottoaikoille 7 %. Kuljetuksesta aiheutuneet päästöt vähenisivät arviolta 8 %. Lumen kuljetuksesta aiheutuneita kustannuksia taas voitaisiin vähentää 80 %:lla käyttämällä lähisiirtoalueita keskitettyjen lumen vastaanottoaikojen sijaan.

Jos otetaan huomioon ainoastaan kuljetuksesta aiheutuneet päästöt, on lähisiirtoalueiden käyttö suositeltavampaa kuin keskitettyjen lumenvastaanottoaikojen. Luulajassa lähisiirtoalueiden käytöllä voitaisiin laskennallisesti vähentää CO<sub>2</sub>:ta 41 %:lla, NO<sub>x</sub>:ta 47 % ja CO:ta 43 %:lla. (Reinosdotter et al. 2003.)

Lumenvastaanottoajat vahingoittavat kasvillisuutta, roskaavat, laskevat maanpinnan lämpötilaa ja lisäävät raskasta kuljetusta alueella. Lähisiirtoaikojen käyttö taas saattaa vahingoittaa maanpintaa ja kasvillisuutta, vähentää luonnon monimuotoisuutta, aiheuttaa kuivatusongelmia ja tulvimista sekä vaikeuttaa maanpinnan puhdistamista. Asutusalueilla sijaitsevilla lähisiirtoalueilla on vähemmän ongelmia kuin kaupunkien keskustassa olevilla alueilla. Asutusalueilla lumi on myös puhtaampaa ja sulaa nopeammin keväisin. (Reinosdotter et al. 2003.)

Alueen asukkaat valittavat lähisiirtoalueista lähinnä alueiden maisemahaittoista. Keväisin lumen sulaessa roskat ja hiekoitushiekka tulevat näkyviin ja saavat lumen näyttämään ”mustalta lumelta”. Siksi on erityisen tärkeää ottaa huomioon lumen laatu, kun käytetään lumen lähisiirtoaikojia. Myös kasvukausi saattaa käynnistyä lähisiirtoaikojilla tavallista myöhemmin ja voi häiritä alueiden asukkaita. Lumen vastaanottoajat sijaitsevat yleensä kaukana asutuksesta, eivätkä siksi häiritse asukkaita paljon. (2003 Reinosdotter et al.)

Pysyvä lähisiirtoaika sijoitetaan yleensä avoimille viheralueille kuten puistoihin, kujille tai muille käytettävissä oleville paikoille. Laajaa lähisiirtoaikojen käyttöä rajoittaa käytettävissä olevien maa-alueiden puute. Sopivan maan löytäminen vaihtelee suuresti kaupunkien välillä. Suurissa kaupungeissa sopivan maan löytäminen on vaikeampaa ja sen käyttö kalliimpaa kuin pienemmissä kaupungeissa. Määriteltäessä lähisiirtoaikojia kaupunkien tulee ottaa huomioon maan kustannukset. Myös paikan geotekniset ominaisuudet, paikan muu käyttö ja saatavuus on otettava huomioon. Sekä lumenvastaanottoaikojen että lähisiirtoaikojen sulamisvedet on mahdollista johtaa joko pohjaveteen, pintavesistöön tai maaperään. Saastuneen lumen sulamisvesien kontrollointi on helpompaa tehdä keskitetysti lumenvastaanottoaikoilla, mutta silloin ympäristö ei voi olla helposti vahingoittuva. (Reinosdotter et al. 2003.)

Lumenvastaanottoajan käyttö vaatii Ruotsissa virallisen ilmoituksen ympäristöviranomaisille ja joissain kunnissa myös ympäristöluvan. Lähisiirtoaikojia eivät koske ilmoitus- tai lupamenettelyt. Pitempiaikainen lähisiirtoalueiden käyttö vaatii kuitenkin

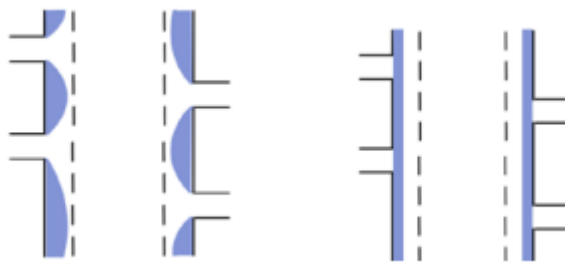
suuntaviivojen laatimista lähisiirtopaikalle sekä lumenlaaturajojen määrittelyä. Yleinen hyväksyntä lumen lähisiirtoalueiden käyttöön voi vaihdella eri kaupunkien, eri maiden ja eri talvikulttuurien välillä. Maan käyttö lähisiirtopaikkoihin on riippuvaista infrastruktuurista sekä asukastiheydestä. Lähisiirtoa koskevat säännöt saattavat vaihdella jopa maan sisällä, joten yleisten ohjeiden antaminen on hyvin hankalaa. (Reinosdotter et al. 2003.)

Lähisiirtopaikat sijaitsevat usein lähellä asutusta, joten niihin liittyy myös onnettomuusriski. Riski kasvaa erityisesti, jos lapset käyttävät lähisiirtopaikkaa leikkipaikkana. Lumikasoista saattaa tulla myös näkemäesteitä liikenteelle. Lumenvastaanottoaikoilla onnettomuusriskit ovat pienemmät, mutta toisaalta raskas liikenne lisääntyy lähialueilla huomattavasti. (Reinosdotter et al. 2003.)

### 2.3.3 Katualueiden lumimäärän laskeminen ja lähisiirtopaikkojen tarve

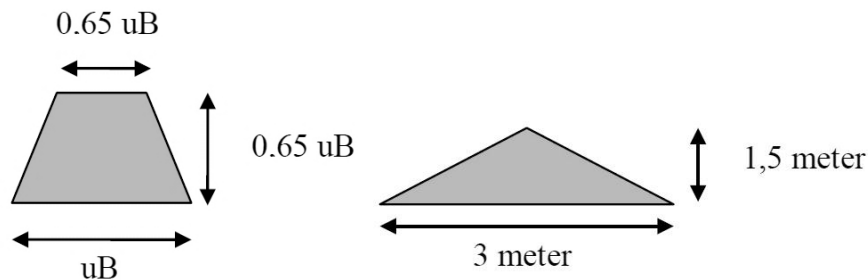
Luulajan yliopistossa tehdyssä diplomityössä on tutkittu Luulajan kaupungin lumitilojen riittävyyttä ja lähisiirtopaikkojen tarvetta runsaslumisena talvena 2009–2010. Bohlin (2011) on työssään esitellyt teoreettisen laskentamenetelmän katualueiden lumimäärän laskentaan. Malli laskee lumivallien teoreettisen koon havaintojen ja mittausten perusteella. Vallien tilavuudet lasketaan vertaamalla lumen tiheysarvoja veden tiheysarvoihin. Malli laskee erikseen myös kadun pintaan polanteisiin jäävän lumen ja vähentää tämän läjitettävän lumen määrästä.

Bohlin (2011) on käyttänyt laskelmissa lumen tiheytenä  $250 \text{ kg/m}^3$ . Tiheys on laskettu sen perusteella, että lunta satoi tutkittavana talvena vedeksi muutettuna 263 mm ja lumen syvyys oli 1030 mm. Koska katuliittymiin ei voi kasata lunta, ne otettiin tutkimuksessa huomioon laskemalla keskimääräinen prosenttiosuus, jolla liittymiä esiintyy. Lumivallien osuudeksi kaduilla saatiin 60 %. Kuvassa 10 on esitetty, miten lumivallit todellisesti sijoittuvat, mutta miten niiden laskennallisesti ajatellaan olevan. (Bohlin 2011.)



Kuva 10. Lumivallien todellinen sijaintikadulla ja laskennallinen oletussijainti

Talven aikana tehtyjen lumivallimittausten perusteella lumivallin muodoksi määriteltiin asuinkaduilla puolisuunnikas (kuva 11) ja kokoojakaduilla, joilla on enemmän lumitilaa tasasivuinen kolmio. (Bohlin 2011.)



Kuva 11. Lumivallin muoto asuinkaduilla ja kokoojakaduilla (Bohlin 2011)

Lumivallin sisältämä lumimäärä lasketaan kaavalla:

$$V_{\text{lumivalli, lunta}} = V_{\text{valli}} * \rho_{\text{lumivalli}} / \rho_{\text{vesi}} , \quad (8)$$

missä

$V_{\text{valli}}$  on lumivallin teoreettinen tilavuus

$\rho_{\text{lumivalli}}$  on lumivallissa olevan lumen tiheys, tässä  $550 \text{ kg/m}^3$

$\rho_{\text{vesi}}$  on veden tiheys eli  $1000 \text{ kg/m}^3$

Kadulle jäävän lumen tilavuus lasketaan kaavalla:

$$V_{\text{polanne, lumi}} = V_{\text{polanne}} * \rho_{\text{polanne}} / \rho_{\text{vesi}} , \quad (9)$$

missä

$V_{\text{polanne}}$  on polanteen teoreettinen tilavuutta (=paksuus \* kadun pinta-ala)

$\rho_{\text{polanne}}$  on lumivallissa olevan lumen tiheys, tässä  $800 \text{ kg/m}^3$

$\rho_{\text{vesi}}$  on veden tiheys eli  $1000 \text{ kg/m}^3$

Keväällä, kun kadut höylätään, polanteen paksuus kasvattaa lumen varastointitarvetta. Höylätty lumi muuttaa hieman muotoaan eikä ole niin tiivistä kuin pakkautuneena kadun pinnassa. Tutkimuksessa todetaan, että ilman lisätutkimuksia on vaikea todeta, kuinka paljon polannelumi todella kasvattaa lumikasoja. Tutkimuksessa on oletettu kertoimeksi 1,4 eli lisäys olisi 40 %.

Lumen varastointitarve alueella lasketaan lumiylijäämän ja kevähöyläyksessä irtoavan lumen perusteella.

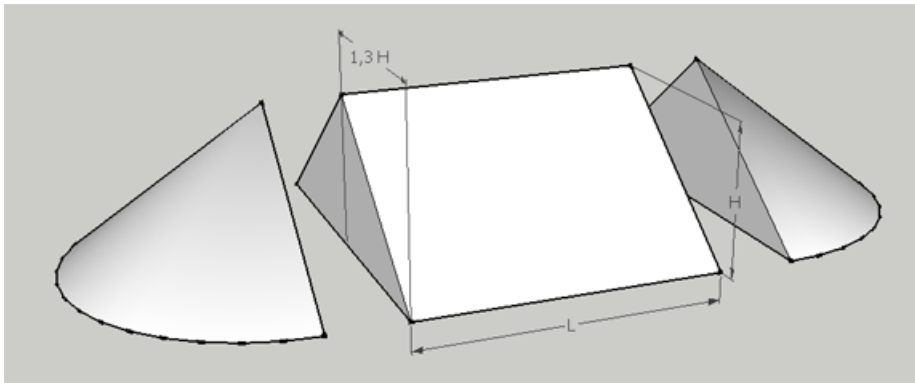
$$\text{Varastointitarve (m}^3\text{)} = V_{\text{ylijäämä}} * \rho_{\text{varasto}} / \rho_{\text{vesi}} + V_{\text{kevähöyläys}} \quad (10)$$

Lumiylijäämällä tarkoitetaan lumen kuutiomäärää, joka ei mahdu lumitiloihin kadunvarsille. Varastoidun lumen tiheyden ( $\rho_{\text{varasto}}$ ) on oletettu olevan  $700 \text{ kg/m}^3$ .

Talven 2010 – 2011 aikana tehtyjen mittausten perusteella lumivarastosta tehtiin yksinkertaistettu geometrinen malli, joka muodostuu kahdesta puolikkaasta kartiosta ja lieriöstä (kuva 12) (Bohlin 2011).

Varaston tilavuus saadaan geometrisillä kaavoilla:

$$V_{\text{varasto}} = V_{\text{lieriö}} + V_{\text{kartio}} = \frac{B * H}{2} * L + \frac{\pi * r^2 * H}{3} = \frac{2,6 * H^2}{2} * L + \frac{\pi * (1,3 * H)^2 * H}{3} \quad (11)$$

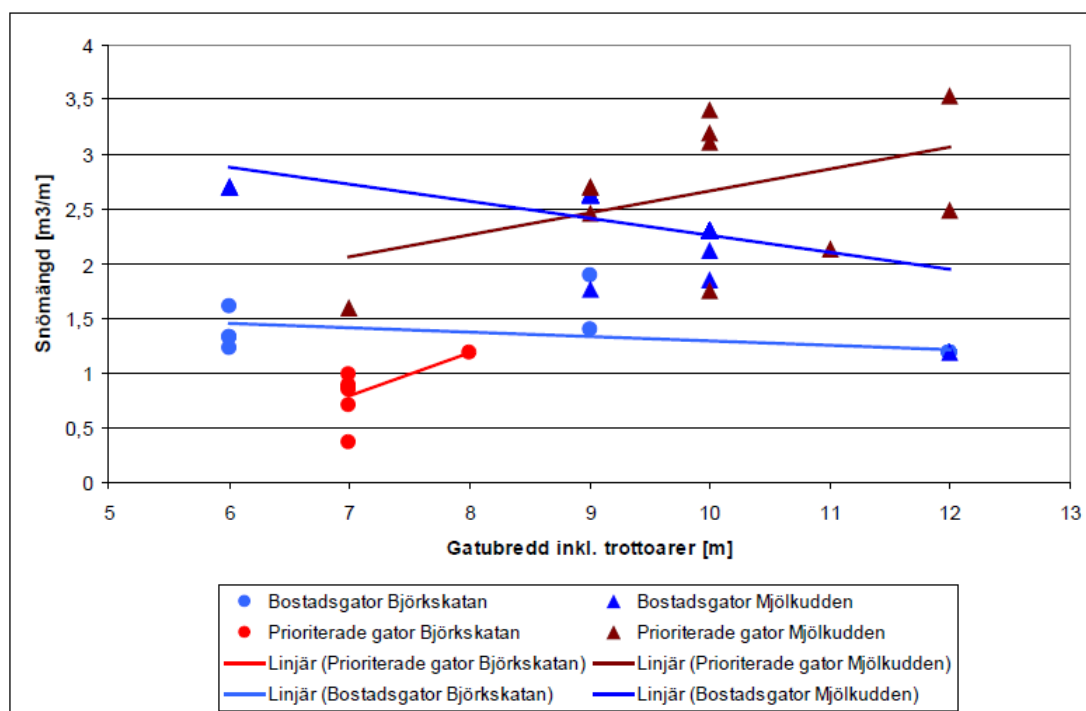


Kuva 12. Lumivaraston yksinkertaistettu geometrinen malli (Bohlin 2011)

Jotta pystyttäisiin etukäteen varautumaan lumen varastointiin uusia asuinalueita suunniteltaessa, on kehitetty tunnusluku varastointitarpeen arviointiin.

$$\text{Tunnusluku} = \frac{\text{Varastointitarve}}{\text{Kadun pituus}}$$

Tutkimus osoitti, että käyttämällä lähisiirtoalueita, on mahdollista vähentää lumen kuljetusta Luulajan asuinalueilla. Laskelmien mukaan kokoojakaduilla lumen varastointitarve on noin  $1 \text{ m}^3$  per katumetri, kun asuntokaduilla se on noin  $1,5 \text{ m}^3$  per katumetri. Kuvassa 13 on esitetty Bohlinin laskemia lumimäärästä katumetriä kohti.



Kuva 13. Erilaisten katujen lumimäärä katumetriä kohden (Bohlin 2011). Ympyrällä merkityt kuvaavat Björkskatanin aluetta ja kolmiolla merkityt Mjölkuddenia. Björkskatanin asuntokadut on merkitty vaaleammalla sinisellä ja Mjölkuddenin asuntokadut tummemmalla sinisellä. Björkskatanin kokoojakatuja on kuvattu punaisella jse Mjölkuddenin vastaavia ruskealla.

Lisäksi tutkimus osoitti, että kuljetustarvetta voidaan vähentää huomattavasti leventämällä katualuetta muutamalla metrillä ja tekemällä selvä ero kokooja- ja asuntokatujen välille. Asutuksen lähellä sijaitsevista viheralueista on hyötyä kunnalle ja asukkaille ympäri vuoden. Keskusta-alueilla on suurin lumenvarastointitarve, mutta sijoituspaikkoja ei juuri ole. (Bohlin 2011.) Tutkimuksessa ei erikseen käsitelty lähisiirron vaikutuksia kustannuksiin.

### 2.3.4 Lumen lähisiirtopaikkojen sijainti ja huomioonotto kaavoituksessa

Kittilän kunnan Levin kyläkuvan kehittäminen kilpailueduksi – selvityksessä (2010) on käsitelty talvikunnossapidon menetelmien kehittämistä Levin oloissa. Selvityksessä on todettu, että talvikunnossapito täytyy ottaa huomioon jo kaavoitusvaiheessa. Lumen lyhyt- ja pitkäaikaisvarastointia varten tulee osoittaa paikka ottamalla huomioon liikenneturvallisuus ja visuaalinen ilme. Lumen lähisiirron tarvitsemat tilat voidaan osoittaa tarvittaessa kaavoissa esimerkiksi erikoisalueina E-merkintänä tai vaihtoehtoisesti LP-merkintänä, jolloin paikkoja voidaan käyttää kesäisin yleisinä pysäköintipaikkoina. Kaavojen ja niissä esitettyjen rakennustapojen vaikutukset talvikunnossapitoon ja sen kustannuksiin tulisi käsitellä osana suunnitteluprosessia. Jos kaavassa ei ole osoitettu

paikkaa, johon lumet voi kasata, kasataan ne sinne mihin ne mahtuvat, jolloin paikka ei välttämättä ole se paras mahdollinen. Tiiviisti rakennetulla alueella lumen lähisiirto- paikkojen löytyminen on vaikeaa. Lumen varastointiin kannattaa hyödyntää rakentamat- tomia alueita, kiinteistöjen autopaikkoja sekä lumirakentamisen avulla luotuja varas- tointipaikkoja. (Kittilän kunta 2010.)

Levin mökkiasutusalueilla jokaiselle kadulle varataan kiinteistöjen lumitilojen ja mök- kien määrän mukaan 1-2 erillistä lumenkasauksen aluetta. Lisäksi rakennustapaohjeessa tulee vaatia kiinteistöjen suunnittelussa talviajan huomioon ottamista ja lumitilojen merkitsemistä rakennuslupa-asiakirjoihin. Maisematyöluvalla voidaan ilman kaavamuu- toksia parantaa jo rakennetun alueen lumen säilytyspaikkatilannetta. Pitkäaikaiset lu- men varastointialueet suunnitellaan siten, että sulamisvedet ja niiden mukana kulkeutu- vat roskat ja epäpuhtaudet johdetaan painanteiden kautta keräysaltaaseen. Varastointi- alueet tulee suunnitella kesäaikainen käyttö huomioon ottaen. Pakkautuva lumi ja tal- laamisen aiheuttama jääkansi voivat vaurioittaa kasvillisuutta. (2012 Kittilän kunta.)

Bohlinin (2011) työssä ehdotetut lumen lähisiirtopaikat sijaitsevat metsänreunoilla, met- sääaukeilla ja metsäalueilla. Lisäksi rantakaistoja sekä nurmi- ja viheralueita on ehdotettu lähisiirtopaikoiksi. Ehdotettujen paikkojen varastointikyky vaihtelee  $300 \text{ m}^3$  –  $1200 \text{ m}^3$  välillä. Suurimmat lähisiirtoalueet on sijoitettu rantakaistalle, metsänreunaan kadun var- ressa sekä metsäluiskaan. Kuvassa 14 on kaksi esimerkkiä ehdotetuista alueista.



Kuva 14. Esimerkkejä ehdotetuista lähisiirtopaikoista (Bohlin 2011). Vasemmanpuoleinen alue sijaitsee metsäalueella ja on kapasiteetiltaan  $300 \text{ m}^3$ . Oikeanpuoleinen alue on nurmialue ja kapasiteetiltaan  $500 \text{ m}^3$ .

Taulukossa 5 on yhteenveto Bohlinin tutkimista asuntoalueista ja niiden lumen varas- tointitarpeesta. Taulukossa on esitetty Bohlinin laskema teoreettinen varastointitarve, vertailun vuoksi toteutuneet lumenkuljetusmäärät ja kuinka paljon Bohlinin esittämien lähisiirtoalueille voisi lunta läjittää.

Taulukko 5. Asuinalueiden lähisiirtotarve (muokattuna lähteestä: Bohlin 2011).

Katu	Teoreettinen varastointitarve (m <sup>3</sup> )	Kuljetettu lumi talvella 2010-2011 (m <sup>3</sup> )	Lähisiirto-paikoille (m <sup>3</sup> )	Kuljetettava (m <sup>3</sup> )	Lähisiirretään (%)
<b>Björkskatan</b>	5 777	5000 - 10 000	2 977	2 800	51
<b>Mjölkuuden ja Notviken</b>	26 104	15 000–20000	4 000	22 104	15

Kuopiossa kaupunkialueen auraslumet kuljetetaan 30 lähiläjitäysalueelle ja kahdelle lumen vastaanottopaikalle. Yksittäisen lähisiirtopaikan kapasiteetti on noin 1 000 – 2 000 m<sup>2</sup>. Kuopion kaupungin asemakaavatoimisto sekä tekninen virasto ovat todenneet lähiläjitäyspaikkojen lyhentävän kuljetuksia ja niiden lisäämistä on toivottu. Myös Kuopion ympäristökeskus on lähiläjitäyspaikkojen lisäämisen kannalla, kunhan niistä ei aiheudu haittaa asukkaille ja sulamisvedet saadaan imeytettyä maahan. Kuopion kaupungin mukaan ideaali etäisyys lähisiirtopaikkojen välillä on maksimissaan kolme kilometriä, mutta sen toteuttaminen jo rakennetuilla alueilla on hankalaa. Uusille kaavoitettaville alueille tulee tulevaisuudessa varata riittävästi lumenläjitäykseen soveltuvia alueita jo yleiskaavoitusvaiheessa. (Kuopion kaupunki 2009.) Taulukossa 6 on verrattu Kuopion lähisiirtoalueita koskevia kriteerejä vastaavanlaisiin ohjeisiin lumen varastoinnista ja käsittelystä Kaakkois-Michiganissa (SEMCOG 2007).

Taulukko 6. Lähisiirtoalueiden kriteerien vertailua (SEMCOG 2007 & Kuopion kaupunki 2010).

SEMCOG:n ohjeet	Kuopion ohjeet
Lumi tulee kasata alueelle, jossa on vähintään 76 cm maakerros maanpinnan ja vedenpinnan välissä. Maaperä ja kasvillisuus toimivat suodattimena lumessa oleville epäpuhtauksille.	Lumen lähisiirto ei saa aiheuttaa puuston ja aluskasvillisuuden vahingoittumista.
Sulamisvesistä tulee huolehtia.	Sulamisvesien tulee kulkeutua vesistöihin suodattamalla maaperän läpi.
Lumen auraamista pintavesiin kuten joen pohjaan, jokiin, järviin, soihin tulisi välttää. Myös hulevesiviemäriin auraamista tulisi välttää	Jos lähisiirtoalue sijaitsee vesistön lähellä, tulee rakentaa kevyt sulamisvesien käsittelyjärjestelmä kohteeseen.
Lumen varastointikapasiteetti tulee arvioida ennalta, jotta lumen sijoituspaikkojen koko ja määrä on riittävä	Lähiläjitäysalueen käyttö ei saa aiheuttaa kohtuutonta haittaa alueen asukkaille.
Maastonmuodot on hyvä ottaa huomioon. Sijoituspaikka ei saa olla jyrkässä rinteessä eikä maalaji olla helposti kuluva. Alueita, joissa on maassa halkeamia, tulee välttää, sillä halkeamien kautta epäpuhtaudet voivat johtua pohjaveteen.	Lähisiirtoalueella tulisi olla riittävät korkeuserot, jotta kuormat voidaan purkaa suoraan maastoon (esim. tiepenkereet).
Läjitäyspaikasta pitää huolehtia sekä talven aikana että sen jälkeen. Kun paikkaa ei enää tarvita lumen läjitämiseen, tulee se puhdistaa ja kunnostaa.	Lähisiirrossa kulkeutuvat roskat tulee voida siivota riittävän nopeasti lumen sulettua.

### 2.3.5 Lumen siirtoon ja käsittelyyn käytettävä kalusto

Suomessa aurattu lumi lähisiirretään yleisimmin pyöräkuormaimella sellaiselle paikalle, jossa se voi sulaa ja haihtua häiritsemättä kadun tai kiinteistön käyttöä. Myös lumilinkoa voidaan käyttää lumen lähisiirtoon. Silloin lumi lingotaan kauemmas ja saadaan näin enemmän lumitilaa lumen levittyessä tasaisesti maastoon. Lähisiirtoa ei ole yleensä järkevä tehdä näköetäisyyttä kauemmas, vaan silloin lumi kannattaa kuormata ja kuljettaa pois lumen vastaanottoapaikoille. Poiskuljetettava lumi lastataan kuljetusvälineeseen yleensä pyöräkuormaimella tai kuormaavalla lingolla. (SKTY 2006.) Lumikauhalla varustettu kaivuri sopii kohteeseen, jossa on esteitä ja vaaditaan hyvää ulottuvuutta (Tiehallinto 2009).

Pyöräkuormaimia on saatavilla useita eri kokoja eri tarkoituksiin. Pienet työkoneet ovat ketterämpiä, mutta ne eivät pysty siirtämään tai kuormaamaan lunta samaan tapaan kuin isommat koneet. Esimerkiksi kaupunkikäytössä suosittuihin Wille-työkoneisiin (kuva 15) asennettavan lumikauhan koot vaihtelevat 0,8 – 2,5 m<sup>3</sup> välillä.



Kuva 15. Pieni ja suuri Wille-työkone (lähde: Vilakone Oy)

Myös lumilinkoja on saatavilla erilaisia. Jos lingossa on lumenohjain, voidaan sitä käyttää lumen kuormaamiseen kuorma-auton lavalle (Tiehallinto 2009). ArcticMachinin lumilingon tuotenimi on Lumenkuormaaja (kuva 16). Lumenkuormaaja kiinnitetään pyöräkuormaimeen kauhan paikalle ja se on varustettu omalla voimanlähteellään. Lumi voidaan lingota joko kuorma-auton lavalle tai suoraan maastoon. Lumen heittoetäisyyttä säädellään ohjaamalla heittoputken päätä. Esimerkiksi AM 2500 Lumenkuormaaja linkoaa lumen noin neljän metrin korkeuteen ulottuvalla heittoputkella, jonka kääntökulma on 200 astetta. (Simonen et al. 2011). Liitteessä 2 on esitetty tarkemmin Wille-koneiden ja AM2500:n tuotetietoja.





*Kuva 16. Lumenkuormaaja edestä (ArcticMachine 2012) ja kuormaamassa (Simonen et al 2011). Lumenkuormaaja kuormaa seitsemän kuorma-autoa samassa ajassa kuin pyöräkuormain kuormaa yhden.*

Tammikuussa 2011 tehdyssä lumenpoistotutkimuksessa (Simonen et al. 2011) selvitettiin lingon soveltumista erilaisiin kohteisiin Helsingissä. Tutkimuksessa vertailtiin Lumenkuormaajan ja pyöräkuormaimen työsaavutusta, kuormatun lumen tiheyttä sekä tehtiin yleisiä havaintoja. Lunta poistettiin aurausvallista lumilingolla sekä kuormaamalla kuorma-auton lavalle että linkoamalla suoraan maastoon. Kulosaaren sillalla lumenkuormaajalla lingottiin lunta sillan kaiteiden yli luiskaan. Sörnäisten rantatiellä lunta lingottiin kevyen liikenteen väylän välikaistalle sekä kevyen liikenteen väylän yli maastoon.

Vaikka pyöräkuormain ja lingolla varustettu pyöräkuormain eivät fyysisesti juuri eroa toisistaan, on lumenpoisto pyöräkuormaimella kuitenkin selvästi tehottomampaa kuin lumenkuormaajalla. Tutkimuksen perusteella Lumenkuormaaja ehtii kuormata seitsemän kuorma-auton lavallista samassa ajassa kuin kauhakuormaimella ehtii kuormata yhden. Lisäksi kuljetuskalusto on tehokkaammin käytössä käytettäessä Lumenkuormaajaa. Lingotulla lumella on suurempi tiheys kuin kauhotulla lumella ja siten kuorma-auton lavat täyttyvät tiiviimmin. Ongelmaksi voikin tulla kuljetuskaluston riittävä määrä. (Simonen et al. 2011).

Pyöräkuormaimella kuormattaessa tyypillisiä piirteitä ovat jatkuva edestakainen liike ja suunnanvaihdot, jotka saattavat aiheuttaa häiriöitä ja yllättäviä tilanteita muulle liikenteelle. Kuormaavalla lingolla varustettu pyöräkuormain liikkuu yleensä vain eteenpäin, joten edestakaista liikettä ei synny ja työskentely onnistuu ahtaissakin paikossa. Tutkimuksessa Lumenkuormaajan huomattiin soveltuvan hyvin ahtaille tonttikaduille, joissa lumi oli kaventanut ajorataa huomattavasti. Esimerkiksi Kaironkadulla lumi lingottiin suoraan kuorma-auton lavalle, eikä työkonoiden edestakaista siirtelyä tapahtunut. Ahtailla tonttikaduilla lumenpoiston työnsuunnittelu korostuukin, sillä lumilingoilla ja etenkin kuorma-autoilla täytyy olla selvät ajoreitit myös pois alueelta. (Simonen et al. 2011).

### 2.3.6 Muita lumen käsittelytapoja

Lunta voidaan käsitellä muullakin tavalla kuin lähisiirtämällä tai kuljettamalla lumi lumenvastaanotto paikoille. Muita vaihtoehtoisia tapoja ovat muun muassa katulämmitys, lumen sulattaminen sekä lumen käyttäminen kaukokylmään eli jäähdyttämiseen.

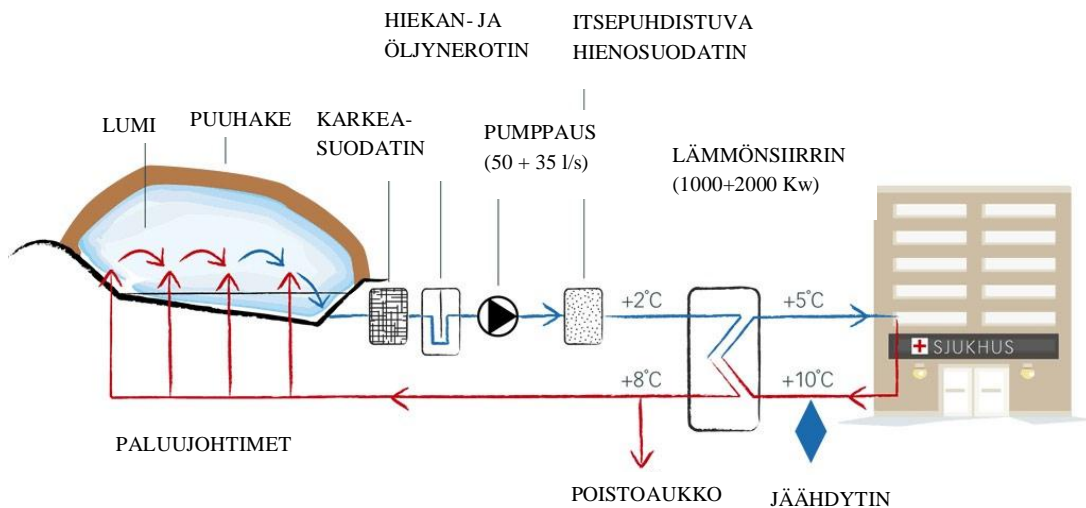
#### Katulämmitys

Katulämmitys on yksi keino pitää katu- ja liikennealueet puhtaana lumesta ja torjua liukkautta. Sitä käytetään erityisesti kaupunkikeskustojen kävelykatualueilla ja liikekeskusten piha- ja ulkoalueilla. Lisäksi muun muassa linja-autotermiinaaleihin, pysäkkeihin, liittymiin, siltoihin ja ramppeihin voidaan rakentaa lämmitys. Lumen sulatukseen tarvittava lämmitysteho on noin  $300 \text{ W/m}^2$ . Tämä teho riittää sulattamaan uutta lunta 30mm tunnissa ja pitää kadun pinnan sulana -13 asteeseen asti. (Sipilä et. al 2001.) Kadun pintalämpötila tavoitelämpötila on noin +3 asteessa. Se saavutetaan, kun kadun alapuolella 150 – 200 mm syvyydessä sijaitsevien putkien pintalämpötila on noin +35- 39 astetta. Energian lähteenä voidaan käyttää suoraa sähköä tai varaavaa järjestelmää. Lisäksi voidaan käyttää esimerkiksi kaukolämmön paluuvettä, eri prosessien ja jäähdytyslaitteiden lauhdelämpöä, maalämpöä tai merivedestä pumpattua lämpöä. Suora sähkölämmitys ei ole taloudellista eikä kiinteistöjen sähköliittymistä saa tarpeeksi sähköä katulämmitykseen. Katulämmityksen hyötyinä ovat muun muassa esteettömämpi ja turvallisempi jalankulku, vähentynyt talvihoidon tarve sekä hiekoitushiekan aiheuttaman pölyn vähentyminen. Käyttö- ja kunnossapitokustannukset ovat kuitenkin jonkin verran suuremmat. Myös kadun alla olevien putkien ja kaapeleiden korjaus vaikeutuu katulämmitysputkistojen takia. (SKTY 2002.) Katulämmitysputkiston korjaus on kallista ja työn tekeminen vaatii usein koko kadun sulkemisen (suullinen tiedonanto, Alatyttö 17.8.2012).

#### Kaukokylmä

Lumesta tehtyä kaukokylmää on käytetty jäähdyttämiseen Ruotsissa Sundsvallin sairaalassa jo vuodesta 2000 (Skogsberg, Nordell 2001). Lumella tuotetun kaukokylmän ideana on, että talvella varastoitua lunta ja jäätä tai keinolunta käytetään kesäisin jäähdytykseen. Jäähdytysaine, eli vesi tai ilma, viilennetään lumen avulla, jotta se hyödyntää suuren piilevän sulamislämmön ja voi tuottaa kylmää. Jäähdytysaine voidaan joko kiertättää takaisin kylmävarastoon tai poistaa kiertokulusta jäähdyttämisen jälkeen. (Skogsberg 2006.)

Sundsvallissa lumi ja jää varastoidaan matalaan 140m x 60m kokoiseen altaaseen, jonka lumenvarastointi kapasiteetti on  $60\,000 \text{ m}^3$ . Allas on vettäläpäisemätön, asfaltoitu ja sen pohja on hieman viettävä. Sairaalan jäähdytys tuotetaan pumppaamalla lumesta muodostunutta sulamisvettä lämmönsiirtimen läpi sairaalan jäähdytysjärjestelmään (kuva 17). Lämmitetty sulamisvesi kierrätetään sen jälkeen takaisin lumialtaaseen, jossa se viilentyy ja muodostuu uutta sulamisvettä. Sulamisvesi puhdistetaan suodattimien sekä hiekan- ja öljynerottimien avulla. (Skogsberg 2001 & Skogsberg 2002.)



Kuva 17. Kaukokylmän käyttö Sundsvallin sairaalassa (Miljönytta 2009, suomennettu)

Vuosien 2000–2005 aikana lumella tuotetun kaukokylmän osuus sairaalaan kokonaisjäähdytystarpeesta oli enemmän kuin 75 %. Parhaimpina vuosina se on ollut jopa 92 %. (Skogsberg 2006.)

### Lumen sulatus

Lunta voidaan sulattaa joko suoraan kadulle suolalla tai sulatusta varten suunnitelluilla laitteilla. Yksi esimerkki lumensulatukseen tarkoitettuista laitteista on SnowDragon -lumensulatin, joka on kuumalla vedellä täytetty perävaunu, johon lumi kaadetaan sulatettavaksi. Vesi kuumentetaan polttoöljyllä tai dieselillä toimivilla polttimilla, jotka kuluttavat eri malleissa polttoainetta noin 115–1200 l/h. Eri mallien sulatuskapasiteetit ovat tarpeen mukaan välillä 18–180 t/h. Lumensulatinta käytettäessä tulee ottaa huomioon myös sadevesiviemärien mitoitus, sillä lumensulattimesta purkautuu vettä nopeudella 0,3–3 m<sup>3</sup>/min laitteen toimiessa täydellä teholla. Laitteista on myös saatavilla kiinteitä malleja, jotka voivat käyttää polttoaineenaan maakaasua. (SnowDragon 2012, Laiho 2011 mukaan.)

Laiho (2011) on verrannut kandidaatintyössään lumensulattamisen kustannuksia lumen kuljettamiseen lumenvastaanotto paikalle Helsingin oloista. Lumen sulattimena tutkimuksessa on käytetty SnowDragonin SND 1800 -lumensulatinmallia, jonka sulatusnopeus on noin 60 t/h ja öljynkulutus on 400 l/h. Laihon laskelmien mukaan lumenvastaanotto paikan pitäisi sijaita vähintään 14,9 km päässä ja kuorma-autoja tulisi olla käytössä vähintään 22, jotta SnowDragon -lumensulattimen käyttö olisi polttoaineen kulutuksen suhteen yhtä kannattavaa kuin lumen kuljettaminen kuorma-autoilla. Laskelmat on kuitenkin tehty pelkästään polttoainekustannusten osalta, työvoimakustannuksia ei ole otettu huomioon. Runsaslumisena talvena, jolloin kaikki kuljetuskalusto on käytössä ja lumenvastaanotto paikat ovat täynnä, voisi sulattimen hyödyt olla haittoja suuremmat. (Laiho 2011.)

### 2.3.7 Lumen siirron ja käsittelyn kustannukset

Talvihoito on kadunpidon merkittävin kustannus. Se on riippuvainen kadun ominaisuuksista, kuten pysäköinnistä, lumitilojen määrästä ja väylien leveydestä. Kustannukset ovat lisäksi riippuvaisia kelioloista, urakoitsijoiden toimintamalleista ja – tavoista. Laadutaso vaikuttaa suoritemääriin ja lumitilojen määrä taas lumenkuljetusmääriin. Laadusta joudutaankin käytännössä tinkimään rankkoina talvina. (STKY 2002.)

Talvihoidon kustannukset koostuvat siis:

- aurauksesta
- liukkaudentorjunnasta
- lumen lähisiirrosta
- lumen lastauksesta ja poiskuljetuksesta sekä
- lumen vastaanottopaikkojen ylläpidosta
- hiekan poistosta keväällä

Kolehmainen (2011) on diplomityössään tutkimut ylläpitoa haittaavia suunnitteluratkaisuja varsinkin Helsingissä. Talvihoidon osalta lumitilojen puute, kadun kapea poikkileikkaus sekä hidasteet vaikeuttavat eniten talvihoitoa. Taulukossa 7 on kuvattu, miten erilaiset suunnitteluratkaisut vaikuttavat kustannuksiin.

Taulukko 7. Talvihoidon neliökustannukset

	Kustannus vuodessa, kun talvihoito suoritetaan 30 kertaa/talvi (€/talvi)			Vuosikustannukset €/m <sup>2</sup>		
	Normaali (€)	Ongelmakohta (€)	Lisäkustannus (€)	Normaali (€/ m <sup>2</sup> )	Ongelma (€/ m <sup>2</sup> )	Kasvu (%)
Lumitilat (1)	21,0	111,0	90,0	0,03	0,2	670
Kapeus (aura/kone mahtuu) (2)	18,0	39,0	21,0	0,1	0,2	200
Kapeus (aura/kone ei mahdu) (2)	18,0	54,0	36,0	0,1	0,2	200
Ajoeste (3)	3,0	24,0	21,0	0,03	0,3	1000
Hidasteet (4)	1,2	3,0	1,8	0,03	0,1	330
Saarekkeellinen suojatie (5)	2,7	15,0	12,3	0,1	0,3	300
Taskupysäköinti (6)	0,6	9,0	8,4	0,05	0,7	1400
<b>Yhteensä</b>	<b>64,5</b>	<b>255,0</b>	<b>190,5</b>	<b>0,44</b>	<b>2,0</b>	<b>460</b>
Kääntöpaikka (pussikatu)	42,6	42,6	42,6		42,6	200

Kolehmainen on tutkimuksessaan todennut, että leutoinkin talvina Helsingistä joudutaan kuljettamaan 40 000 m<sup>3</sup> lunta lumenvastaanottopaikoille, josta aiheutuu noin 4,6 miljoonan euron kustannukset.

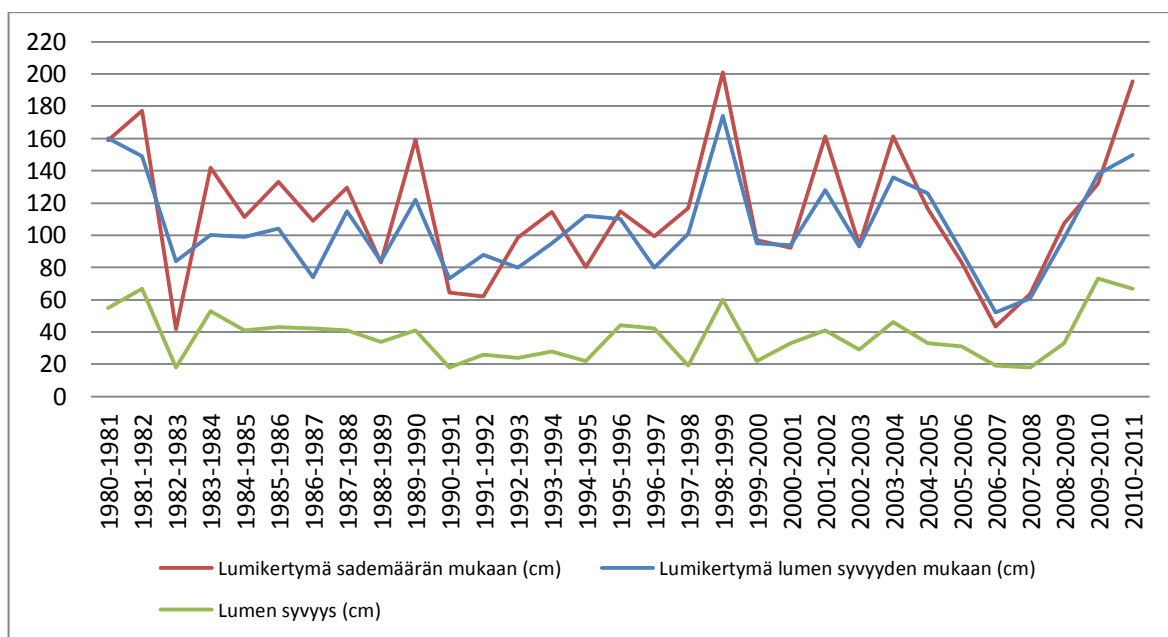
## 3 Tutkimusmenetelmät, aineiston keruu ja käsittely

### 3.1 Laskelmat

Lumitaselaskelmat on laskettu erilaisille todellisille poikkileikkauksille. Esimerkkika-  
duiksi on otettu kokooja- ja asuntokatuja Helsingistä ja Jyväskyläästä. Helsingin esi-  
merkkikatujen poikkileikkaukset on mitattu maastossa ja arvot on laskettu mittausten  
keskiarvoista. Jyväskylän katujen poikkileikkauksien arvot on laskettu Jyväskylän kau-  
pungin antamien tietojen mukaan. Laskentakaavat on esitetty luvussa 4.2.

#### 3.1.1 Säätilastojen käyttö

Lumitaselaskuissa (luku 4.2.) on käytetty Ilmastokeskuksen sadetilastoja sekä lumensy-  
vyysmittauksia vuosilta 1980–2011 Helsingistä ja Jyväskyläästä. Mukana on siis yhteen-  
sä 31 talven tiedot. Sademääristä lumisateiksi on oletettu ne sateet, jolloin vuorokauden  
keskilämpötila on alle 0 celsiusasteen. Sademäärät (mm) muutettiin lumikertymäksi  
(cm) nyrkkisäännön 1 mm vettä on 1 cm lunta perusteella. Kuten kuvasta 18 huoma-  
taan, lumikertymän arvot eli talven aikana sataneen lumen määrä ovat erilaiset sen mu-  
kaan, arvioidaanko lumikertymä sademäärästä vai lumensyvyyden muutoksesta.



Kuva 18. Helsingin lumikertymän eri mittaustavat

Lumisademääriä ja lumen syvyyden muutoksia verrattiin vuosittain keskenään ja huoma-  
ttiin, että niissä esiintyy vaihtelua. Huomattiin, että alkutalvesta osa sateista lasketaan  
lumeksi, vaikka lumen syvyys ei ole muuttunut, jolloin voidaan olettaa sateen olleen  
vettä. Toisaalta keväisin viimeiset lumisateet saatetaan luokitella jo vedeksi, jos vuoro-  
kauden keskilämpötila on kohonnut jo yli 0 celsiusastetta.

Siksi tässä tutkimuksessa talven lumikertymän arvioimiseen on käytetty lumensyvyysmittausten positiivisia muutoksia. Vuosittaiset lumisade- ja lumensyvyystilastot on esitetty liitteessä 3.

Lumen maksimisyvyyden mukaan talvet jaoteltiin vähälumisiin, normaalilumisiin ja runsaslumisiin talviin. Normaalilumiseksi talveksi luokiteltiin talvi, jonka lumen maksimisyvyys on +/- 10 cm 31 talvien keskiarvosta. Taulukossa 8 on esitetty talvien luokittelu.

*Taulukko 8. Talvien jaottelu lumen maksimisyvyyden mukaan*

	<i>Helsinki</i>	<i>Jyväskylä</i>
vähäluminen talvi	< 27 cm	< 47 cm
normaaliluminen talvi	27 – 47 cm	47 – 67 cm
runsasluminen talvi	> 47 cm	> 67 cm

Talvien jaottelu vuosittain on esitetty liitteessä 4. Taulukossa 9 on esitetty talvien toistuvuus. Helsingissä on hieman vähemmän runsaslumisia talvia ja hieman enemmän vähälumisia talvia kuin Jyväskylässä.

*Taulukko 9. Talvien toistuvuus 31 talven aikana*

	<i>Talvien määrä</i>		<i>Talvien osuus</i>	
	<i>Helsinki</i>	<i>Jyväskylä</i>	<i>Helsinki</i>	<i>Jyväskylä</i>
Runsasluminen	6	8	19 %	26 %
Normaaliluminen	13	15	52 %	48 %
Vähäluminen	9	8	29 %	26 %

### 3.1.2 Lumen tiheys

Kappaleessa 2.2.1. on esitetty miten lumen tiheys vaihtelee lämpötilan, sijainnin ja lumen käsittelytavan mukaan. Vastasataneen lumen tiheydeksi on tässä tutkimuksessa oletettu  $100 \text{ kg/m}^3$ . Vallissa olevan auratun lumen tiheydeksi on oletettu  $400 \text{ kg/m}^3$ . Oletetaan siis, että auratussa lumivallissa lumi on tiivistynyt neljäsosaan sataneesta lumesta eli lumen tilavuus vallissa on neljäsosa sataneen lumen tilavuudesta. Lisäksi oletetaan, että lumi tiivistyy vielä hieman siirrettäessä aurausvallista lumikasalle. Lähisiirtoalueella olevassa lumikasassa lumen tiheyden oletetaan olevan  $500 \text{ kg/m}^3$ .

Oletukset on tehty kirjallisuustutkimuksen perusteella (luku 2.2.1).

## 3.2 Haastattelututkimus

Haastattelututkimuksen perusteella on selvitetty,

- mikä on tutkittavien kaupunkien nykytila (luku 4.1.)
- mitä lähisiirtoalueiden suunnittelu vaatii (luku 4.4.).

Haastatteluja on tehty sekä yksilö- että ryhmähaastatteluina. Luvussa 4.1. esitetyt tulokset on tehty näiden haastattelun perusteella sekä kaupunkien omien selvitysten, julkaisujen ja tilastojen perusteella. Haastatteluihin on tuloksissa viitattu käyttämällä kaupungin nimeä. Alla on lueteltu tutkimusta varten tehdyt haastattelut aihepiireittäin.

### **Nykytila-analyysia ja lähisiirtopaikkojen suunnittelua varten tehdyt haastattelut**

#### Haastattelu Helsinki 27.2.2012

Ville Alatyyppö, toimistopäällikkö, Helsingin kaupungin rakennusvirasto

#### Haastattelu Turku 29.2.2012

Juhani Tirkkonen, vastaava rakennuttaja, Turku

Heidi Jokinen, katuinsinööri, Turku

Mikko Kunttu, tuotantojohtaja, Turun Seudun Kuntatekniikka Oy

#### Haastattelu Vantaa 5.3.2012

Jorma Ranta, kunnossapitopäällikkö, Vantaan kaupunki

Erkki Tammisto, ylitiemestari, Vantaan kaupunki

#### Haastattelu Tampere 6.3.2012

Petri Kujala, puistopäällikkö, Tampereen kaupunki

#### Haastattelu Jyväskylä 7.3.2012

Tuula Smolander, katupäällikkö, Jyväskylän kaupunki

Petri Teerimäki, katumestari, Jyväskylän kaupunki

Jukka Piispanen, ylläpidon rakennuttaja, Jyväskylän kaupunki

Jari Rönkä, kunnossapidon päällikkö, Altek Aluetekniikka

Timo Tillgren, aluemestari, Altek Aluetekniikka

Helsinki 10.4.2012

Aulis Palokas, työnjohtaja, Stara

Jyväskylä 22.5.2012

Tuula Smolander, katupäällikkö, Jyväskylän kaupunki

Petri Teerimäki, katumestari, Jyväskylän kaupunki

Jukka Piispanen, ylläpidon rakennuttaja, Jyväskylän kaupunki

Timo Tillgren, aluemestari, Altek Aluetekniikka

Mauri Hähkiöniemi, kavasuunnittelija, Jyväskylän kaupunki

### **Ylläpitokustannuksia varten tehty haastattelu**

Helsinki 19.6.2012

Aulis Palokas, työnjohtaja, Stara

## **3.3 Maastohavainnot**

Maastohavainnot on tehty lähisiirtoalueiden sijoittelusta ja jälkihoidosta Helsingissä ja Jyväskylässä. Kasojen sulamista ja jälkihoidontarvetta on seurattu silmämääräisesti huhti- ja toukokuussa 2012. Taulukossa 10 on esitetty kasojen sijainti.

Jyväskylän kasahavainnot on tehty 6.4.2012, 2.5.2012 ja 21.5.2012. Helsingissä vastaavat havainnot on tehty 16.4.2012 ja 27.4.2012.

*Taulukko 10. Lumikasahavainnot*

<i><b>Jyväskylän kasat</b></i>	<i><b>Helsingin kasat</b></i>
Eräkatu	Munkkiniemen uimarannan edustan merialueelle
Hirvenkello	Talin liikuntapuiston laita
Keltavuokko	Talin liikuntapuiston läheinen metsänreuna
Ketunleipä	Kenttä Lapinmäentien varressa
Teivaalantie	Ulvilan puiston kulma

Maastohavaintojen tulokset on esitetty kohdassa 4.4.2.



## 4 Tutkimustulokset

### 4.1 Tutkimuksessa mukana olevien kaupunkien nykytila

Tässä kappaleessa käsitellään Helsingin, Jyväskylän, Tampereen, Turun ja Vantaan talvihoidon nykytilaa ja suurempia ongelmia ja haasteita. Tulokset perustuvat sekä kaupunkien omiin julkaisuihin, tilastoihin ja muihin materiaaleihin sekä haastatteluihin jokaisessa kaupungissa.

#### 4.1.1 Kaupunkien perustiedot

Taulukossa 11 on esitetty tutkittavien kaupunkien perustiedot, kuten kaupungin pinta-ala, asukasluku sekä taajama-aste. Tiedot on saatu tilastokeskuksen internet-tietokannasta. Maapinta-ala tiedot on vuoden 2011 alusta, väestöluku vuoden 2011 lopusta ja taajama-aste vuoden 2010 alusta. Maapinta-ala on saatu, kun kokonaispinta-alasta on vähennetty vesistöjen osuus. Väkiluvussa ovat mukana kaikki vakituisesti kaupungissa asuvat asukkaat. Taajama-aste taas kuvaa taajamissa asuvien osuutta väestöstä, jonka sijainti tunnetaan. Taajamaksi lasketaan kaikki vähintään 200 asukkaan rakennusryhmät, joissa rakennusten välinen etäisyys ei ole 200 metriä suurempi.

*Taulukko 11. Kaupunkien perustiedot (lähde: Tilastokeskus)*

<i>Kaupunki</i>	<i>Kaupungin maapinta-ala (km<sup>2</sup>)</i>	<i>Väkiluku</i>	<i>Taajama-aste (%)</i>
Helsinki	214	595 384	99,9
Jyväskylä	1 171	132 062	93,6
Tampere	525	215 168	98,4
Turku	246	178 630	98,7
Vantaa	238	203 001	99,6

Helsinki on väkiluvultaan Suomen suurin kaupunki. Tampere on väkilukuvertailussa kolmas, Vantaa neljäs, Turku viides ja Jyväskylä seitsemäs. Jyväskylä on tutkittavista kaupungeista väkiluvultaan sekä taajama-asteeltaan pienin, mutta sen maapinta-ala on selvästi suurempi verrattuna muihin tutkimuksessa mukana oleviin kaupunkeihin.

#### 4.1.2 Talvihoidon toteutus

Helsingissä, Jyväskylässä, Tampereella ja Turussa on käytössä tilaaja-tuottaja – malli talvihoidon toteutuksessa. Vantaalla malli oli käytössä aiemmin, mutta se lopetettiin vuonna 2007. Mallilla tarkoitetaan julkisten palvelujen tuotannon organisoimista siten, että palvelun tilaajan ja tuottajan roolit on erotettu hallinnollisesti toisistaan. Tilaajana toimii julkinen taho, mutta tuottaja voi olla julkinen taho tai sitten yksityinen sektori. Tampereella ja Jyväskylässä tuottamisesta huolehtivat suurimmaksi osaksi omat liikelaitokset. Turussa talvihoitoa on osin kilpailutettu, samoin Helsingissä ja Vantaalla.

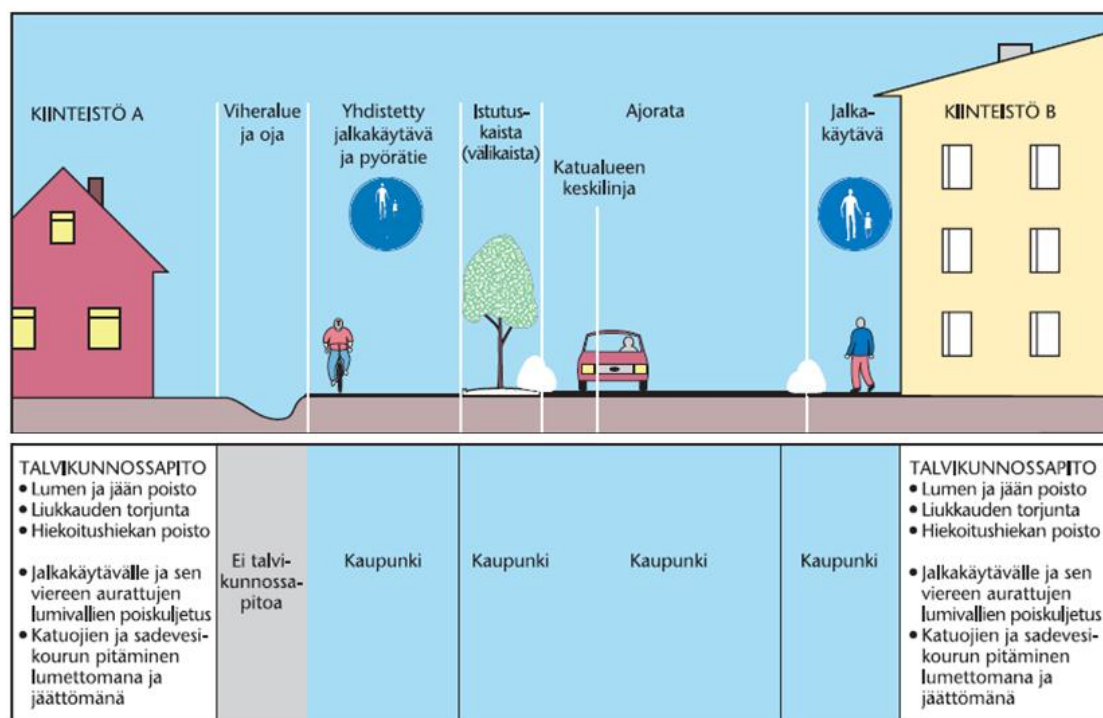
Helsingissä talvihoidosta huolehtivat kaupungin rakentamispalvelu Staran lisäksi yksityiset yrittäjät.

Kaupungit ovat jakaneet kunnossapidettävät alueensa erillisiin alue-urakoihin. Helsingissä on kuusi erillistä kilpailutettua alueurakkaa. Lopuista alueista huolehtii Stara kolmella alueyksiköllään idässä, lännessä ja pohjoisessa. Vantaa on jakautunut kahteen tiemestaripiiriin, itäiseen ja läntiseen. Lisäksi Korson ja Hakunilan alueita hoitaa yksityinen alueurakoitsija. Jyväskylässä on kaksi alue-urakkaa, joista 85 % vastaa kaupungin oma liikelaitos Altek. Tampereella on kymmenen alueurakka-alueita, joista kolme on kilpailutettu yksityisillä palveluntuottajilla ja seitsemän on kaupungin oman liikelaitoksen Tampere Infran vastuulla. Yksityisille tuottajille kuuluvat alueet kasvavat jatkuvasti, sillä kaupunki laajenee ja lisäksi kaupungin itse hoitamia alueita on siirretty yksityisten hoidettaviksi. Turku on tällä hetkellä jaettu kahteen alueurakka-alueeseen: pohjoiseen ja etelään. Toisesta urakka-alueesta vastaa Turun seudun kuntateknikka oy, joka on Turun kaupungin liikelaitoksista muotoutunut osakeyhtiö. Vuoteen 2019 mennessä Turku jaetaan yhdeksään alueurakkaan, jotka kaikki kilpailutetaan.

Jyväskylä ja Vantaa ovat käyttäneet kunnossapitolaissa annettua mahdollisuutta ottaa tontinomistajan vastuulle kuuluvat alueet vastuulleen ja vastaavat kaikkien jalkakäytävien talvihoidosta (kuva 20). Helsinki on toiminut samoin esikaupunkialueilla, Tampere ja Turku ovat osittain ottaneet tontinomistajalle kuuluvat alueet hoitoonsa. Turku hoitaa tällä hetkellä yli 2/3 kaupungin alueella olevista jalkakäytävistä, mutta ei peri maksua tontinomistajilta/-haltijoilta jalkakäytävien talvihoidosta. Kuvassa 19 on kuvattu katualueiden hoitovastuun jakautumista Turussa.



Kuva 19. Vastuu katualueiden hoidosta Turussa



Kuva 20. Vastuu katualueiden hoidosta Jyväskylässä

Vastuujaon lisäksi kaupungin hoidettavan alueen pinta-ala riippuu kaupungin koosta. Taulukossa 12 on esitetty kaupunkien aurattavien alueiden pinta-alat sekä kaupunkien maapinta-alat. Helsingin aurattavan katualueen pinta-ala on lähes kaksinkertainen muihin kaupunkeihin verrattuna, vaikka sen maapinta-ala on pienin näistä viidestä kaupungista. Jyväskylässä taas maapinta-ala on suuri, mutta aurattavaa katualuetta muihin kaupunkeihin verrattuna vähiten.

Taulukko 12. Aurattavan alueen ja kaupungin maapinta-alat tutkittavissa kaupungeissa.

Kaupunki	Aurattavan katualueen pinta-ala (m <sup>2</sup> )	Kaupungin maapinta-ala (m <sup>2</sup> )
Helsinki	15 100 000	214
Jyväskylä	5 400 000	1 171
Tampere	7 790 000 *	525
Turku	7 600 000	246
Vantaa	7 660 000	238

\*Rapal Oy:n ylläpitokustannusvertailusta

Lumilinkojen käyttö sekä lumen siirtämisessä että lumen kuormaamisessa kuorma-auton lavalle on yleistynyt viime talvien aikana. Esimerkiksi Vantaalla oli talvella 2011–2012 käytössä kymmenen lumilinkoa, kun niitä kolme vuotta aiemmin oli vain kaksi. Kaksi lingoista on kaupungin omia, loput aliurakoitsijoiden. Jyväskylässä on ensimmäinen linko otettu käyttöön talvella 2011- 2012. Helsingissä linkojen määrä vaihtelee talven ja urakoitsijoiden mukaan, yhteensä linkoja on käytössä noin kaksikymmentä. Tampereellakin on linkoja käytössä, mutta pääasiassa yksityisillä urakoitsijoilla. Turussa ei ole linkoja käytössä lainkaan.

### 4.1.3 Laatu- ja toimivuusvaatimukset

Luvussa 2.2. käsiteltiin laatu- ja toimivuusvaatimuksia yleisesti. Siinä todettiin, että kaupungit ja kunnat saavat itse tarkentaa kunnossapitolain mukaisia määräyksiä ja laatia omat laatu- ja toimivuusvaatimukset. Tässä tutkimuksessa mukana olevien kaupunkien laatuvaatimukset ovat hyvin toistensa kaltaiset, ainoastaan pieniä eroja esiintyy.

Kaikissa viidessä kaupungissa on kadut jaettu kolmeen eri kunnossapitoluokkaan. Taulukossa 13 on esitetty, minkälaiset kadut mihinkin luokkaan missäkin kaupungissa kuuluvat.

*Taulukko 13. Kaupunkien katujen eri kunnossapitoluokat niihin kuuluvat kadut*

	I	II	III
<b>Helsinki</b>	Pääkadut ja erittäin vilkkaat kevyen liikenteen väylät	Kokoojakadut ja vilkasliikenteiset kevyen liikenteen väylät	Tonttikadut ja vähäliikenteiset kevyen liikenteen väylät
<b>Jyväskylä</b>	-Keskustan ruutukaa- va -Keskustaan johtavat pääväylät -Korpilahden, Palo- kan, Vaajakosken ja Tikkakosken taajami- en pääkadut	-Kokoojakadut - linja-autoreitit, jotka eivät kuulu luokkaan I - teollisuusalueiden kadut, joilla on raskasta liikennettä - asuntokadut, joissa pituuskalte- vuus yli 10 %	Asuntokadut sekä teollisuusalueiden kadut, jotka eivät kuulu luokkaan II
<b>Tampere</b>	Pääväylät	Linja-autoreitit	Asuntokadut
<b>Turku</b>	Keskustaan johtavat pääväylät ja vilkaslii- kenteiset kokoojaka- dut	Asuntoalueiden kokoojakadut, raskaasti liikennöidyt teollisuus- alueiden kadut ja ne joukkoliiken- nereitit, jotka eivät kuulu kunnos- sapitoluokkaan I	Asuntokadut ja ne teolli- suusalueiden kadut, jotka eivät kuulu kunnossapito- luokkaan II
<b>Vantaa</b>	Pääkadut ja tärkeim- mät kevyen liikenteen reitit	Muut linja-autoreitit ja tärkeimmät kokoojakadut	Asunto- ja tonttikadut

Auraukseen, lumen lähisiirtoon ja lumen kuljetukseen liittyvät laatuvaatimukset ja toimenpiderajat on esitetty taulukoissa 14 ja 15. Taulukoiden ensimmäisessä sarakkeessa on esitetty Kuntaliiton alueurakoinnin yleisen tehtäväluettelon mukaiset laatuvaatimukset ja toimenpiderajat. Kaupunkien ohjeet mukailevat hyvin pitkälle kuntaliiton ohjeita, joten kaupunkien sarakkeisiin on lisätty vain kaupunkien omia tarkennukset ja eroavaisuuksia verrattuina näihin yleisiin ohjeisiin. Silloin, kun kaupungin ohjeissa on ollut samat ohjeet, ei niitä ole toistettu enää uudelleen.

Taulukko 14. Kuntaliiton antamat ohjeelliset laatuvaatimukset ja toimenpiderajat kunnille sekä kaupunkien omat tarkennukset

AURAUS	Aurauksen laatuvaatimukset ja toimenpiderajat (I-lk)	Aurauksen toimenpiderajat ja aurauksen enimmäiskesto (II-lk)	Aurauksen toimenpiderajat ja aurauksen enimmäiskesto (III-lk)
<b>Kuntaliitto</b>	<p>Irtolunta keskimäärin 3 cm</p> <p>Sunnuntaisin ja arkipyhinä I-luokassa voidaan noudattaa II-luokan laatuvaatimuksia</p> <p>Mahdollisimman pian laatustandardin alituttua ja ennen vuorokauden liikenteen huippu-tunteja (klo 7 ja klo 16). Jatkuvan lumisateen aikana pidetään liikennöitävässä kunnossa.</p>	<p>Irtolunta keskimäärin 5 cm</p> <p>Laatustandardin alituttua pääsääntöisesti I-luokan jälkeen. Lumisateen jatkuessa pitkään, aurataan myös lumisateen aikana laatustandardin alituttua</p>	<p>Noudatetaan II-luokan laatuvaatimuksia</p> <p>Auraus aloitetaan laatustandardin alituttua pääsääntöisesti kunnossapitoluokan II jälkeen.</p>
<b>Helsinki</b>	<p>Lumikerroksen paksuus ylittää <b>5 cm</b> (sohjo 3 cm)</p> <p>Työn enimmäiskesto <b>3h</b>, yöaikaan voi kestää kauemmin, tehtynä klo 7 mennessä.</p>	<p>Lumikerroksen paksuus ylittää <b>5 cm</b> (sohjo 3 cm)</p> <p>Työn enimmäiskesto <b>4h</b>, yöaikaan voi kestää kauemmin, tehtynä klo 7 mennessä.</p>	<p>Lumikerroksen paksuus ylittää <b>7 cm</b> (sohjo 5 cm)</p> <p>Työn enimmäiskesto <b>3 vuorokautta</b> (la-su ei tarvitse aloittaa)</p>
<b>Jyväskylä</b>	<p>Lumikerroksen paksuus ylittää <b>4cm</b> lumisateen jälkeen, 6 cm sateen aikana. Maksimilumimäärä 10cm (voimassa vrk:n ympäri)</p> <p>Päivällä toimenpideaika <b>2h</b>, yöaikaan oltava aurattuna seuraavaan aamuun <b>klo 7</b> mennessä. Sunnuntaisin ja arkipyhinä luokassa noudatetaan 6 h toimenpideaikaa.</p>	<p>Lumikerroksen paksuus ylittää <b>4cm</b> lumisateen jälkeen 6 cm sateen aikana. Maksimilumimäärä 12cm (voimassa vrk:n ympäri)</p> <p>Päivällä toimenpideaika <b>4h</b>, yöllä seuraavaan aamuun <b>klo 12</b> mennessä. Sunnuntaisin ja arkipyhinä toimenpideaika 8 h</p>	<p>Aloitettava viimeistään, kun kadulla on sateen päätyttyä lunta <b>8 cm</b>, sateen aikana <b>10 cm</b> (sunnuntaisin ja arkipyhinä 12 cm) maksimilumimäärä <b>15 cm</b> (voimassa vrk:n ympäri)</p> <p>Päivällä toimenpideaika 8h, yöaikaan oltava seuraavan päivän aikana <b>klo 16</b> mennessä. Lumipolanne poistetaan, kun sitä on kertynyt yli 80 mm</p>
<b>Tampere</b>	Kuntaliiton mukaan	Kuntaliiton mukaan	Kuntaliiton mukaan
<b>Turku</b>	<p>Lumen maksimilumisyyvyys sateen aikana on <b>5 cm</b>. Auraus on aloitettava <b>kunnossapitoluokasta riippumatta aina silloin, kun lumisyyvyys on puolet maksimiarvosta</b>. Kunto-luokassa I aloitusraja on <b>2,5 cm</b>. Myös jatkuvan lumisateen aikana kadut on pidettävä liikennöitävässä kunnossa.</p>	<p>Maksimilumisyyvyys sateen aikana on <b>6 cm</b>. Linja-autoreitit hoidetaan ensisijaisesti. Auraus aloitetaan, kun lumisyyvyys on puolet maksimiarvosta.</p>	<p>Maksimilumisyyvyys sateen aikana on <b>8 cm</b>. Linja-autoreitit hoidetaan ensisijaisesti. Auraus aloitetaan, kun lumisyyvyys on puolet maksimiarvosta.</p>
<b>Vantaa</b>	Toimenpideaika on <b>4 h</b> tarpeen synnystä, yöllä suoritettava klo 7 mennessä.	Toimenpideaika on <b>4 h</b> tarpeen synnystä, yöllä <b>klo 7</b> mennessä.	Toimenpideaika on <b>12 h</b>

Turun ohjeissa on lisäksi määritelty poikkeuksellinen lumimyrsky, jolloin arvot voivat ylittyä. Poikkeukselliseksi lumimyrskyksi katsotaan tilanne, jossa lunta sataa neljän tunnin aikana vähintään 10 cm tai kun seuraavat ehdot täyttyvät:

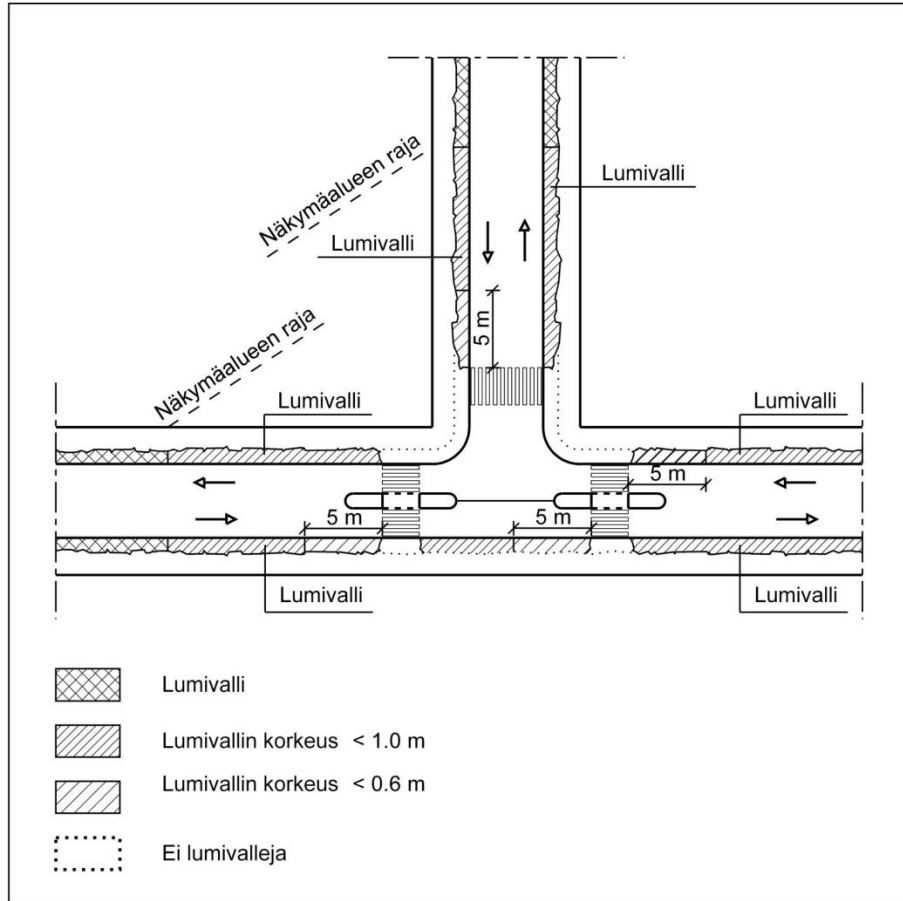
- Lunta sataa yhtäjaksoisesti 4 tunnissa vähintään 5 cm
- Ilman lämpötila on -2 °C tai kylmempi sateen aikana
- Tuuli on sateen ajan voimakasta ja ylittää puuskissa arvon 8 m/s
- Satava lumi on kuivaa ja aiheuttaa voimakasta kinostumista

*Taulukko 15. Lumen lähisiirron ja kuljetuksen laatuvaatimukset ja toimenpiderajat*

	Lumen lähisiirron toimenpideraja ja laatuvaatimukset	Lumen kuljettamisen vaatimukset
<b>Kuntaliitto</b>	<p>Lunta siirrettävä, kun</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- näkemäalueilla lumivallin korkeus on yli 1 metrin</li> <li>- 5 metriä lähempänä suojateitä ja liittymiä lumivallin korkeus ylittää 0,5 metriä</li> <li>- lumivallit vaarantavat liikenneturvallisuutta</li> <li>- lumivallit haittaavat kunnossapitoa</li> <li>- piha-alueen autopaikat, pääsisäänkäynnit tai portit käyvät lumivallista johtuen ahtaiksi</li> </ul> <p>I &amp; II-lk: Näkemää, pysäköintiä, linja-auto-pysäkkien tai jalkakäytävän käyttöä haittaavat lumivallit ensi tilassa</p> <p>III-lk: Yleensä vain liikenneturvallisuutta vaarantavat tai kunnossapitoa haittaavat lumivallit poistetaan</p>	<p>Työhön ryhdytään kun aurausvallit haittaavat kunnossapitoa tai liikennettä tai lumen määrä vaarantaa kasvillisuuden säilymistä. Sähköpylväiden, pysäköintimittareiden, korokkeiden, suojateiden, liikennemerkkien ym. ympäristöjen viimeistely ja pysäköintikatosten puhdistaminen on tehtävä tarvittaessa käsi-työnä.</p> <p>Viheralueilla on erityisesti varottava istutuksia, pensaiden oksistoja ja puiden runkoja. Katupuiden ympärille tulee jättää ”lumivaippa”. Nurmeltualueille (nurmikoille) jätetään suojaava lumikerros.</p> <p>Lumen vastaanottoaikat osoittaa tilaaja.</p>
<b>Helsinki</b>	<p>Siirretään viimeistään silloin, kun seuraavan tavanomaisen lumisateen eli alle 15 cm sateen jälkeen aurattu lumi kaventaisi liikaa väylän poikileikkausta ja haittaisi liikenneväylien käyttöä ja turvallisuutta sekä pysäköintiä tai kun lumivallien korkeus estäisi riittävän.</p> <p>Aurattu lumi lähisiirretään soveltuvalla menetelmällä sellaiselle paikalle, jossa se voi sulaa ja haihtua häiritsemättä kadun tai kiinteistöjen käyttöä.</p> <p><b>Lähisiirtokohteita</b> voivat olla soveltuvien osien viheralueet, kaupungin omistamat tyhjät tontit ja muut rakentamattomat alueet. Myös katualueiden luiskat ja siltojen keilat soveltuvat lähisiirtopaikoiksi. Lisää</p>	<p>Liikennettä haittaavat lumikasat on poistettava jalkakäytäviltä ja muilta kevyen liikenteen väyliltä mahdollisimman pian lumisateen jälkeisen aurauksen päättymisestä</p> <p>Poiskuljetettava lumi ajetaan kaupungin järjestämille lumen vastaanottoaikoille. Lumen kuljettaminen ajoitetaan sellaiseen aikaan, että <b>liikenne ei ruuhkaudu</b>, eikä kuitenkaan häiritä asukkaita tarpeettomasti melulla</p> <p>Yleisten alueiden pysäköintipaikkoja voidaan käyttää tarvittaessa lumen varastointipaikkoina. Ehtona on kuitenkin, että kaikki saman kadun varrella olevat pysäköintipaikat eivät ole lumen varastointitilana. Lisäksi tilaajalta eli Helsingin kaupungilta on pyydetty lupa, jos tarvitaan enemmän varastointitilaa pysäköintipaikoilta.</p>

	lumitilaa saadaan myös <b>siirtämällä lumilingolla.</b>	
<b>Jyväskylä</b>	<p>Lumisateen jälkeiset viimeistelytyöt eli lumen käsittely, lähisiirto ja läjitys on aloitettava viimeistään sateen jälkeisenä arkipäivänä ja niiden tulee valmistua kunnossapito-luokituksen mukaisessa aikataulussa.</p> <p>Työhön on ryhdyttävä, kun</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>-vallin korkeus näkemäalueilla on yli 0,8 metriä</li> <li>-vallit haittaavat kadunvarsipysäköintiä</li> <li>-vallit kaventavat jalkakäytävää yli sallitun</li> <li>-LP-alueilla lumivallit vaikeuttavat pysäköintiä.</li> </ul> <p>I-lk: Kunnossapitoa haittaavat lumivallit ja levitysaurokset kolmen työpäivän kuluessa.</p> <p>III-lk: Lumen lähisiirtoja ja levitysauroksia tehdään alueilla tarpeen mukaan.</p>	<p>Lumen kuljetuksen aloittamisen perusteet:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- lumitilojen täytyvät siten, että lumen lähisiirto ei enää tule kyseeseen</li> <li>- vallit kaventavat liiaksi ajotilaa</li> <li>- vallit vaarantavat liikenneturvallisuutta</li> <li>- vallit haittaavat kunnossapitoa</li> <li>- vallit haittaavat kadunvarsipysäköintiä</li> <li>- vallit kaventavat jalkakäytävää yli sallitun</li> <li>- vallit haittaavat kiinteistölle kulkua</li> <li>- vallit aiheuttavat sulaessaan todennäköisesti liukkaus-, jäätymis- tms. ongelmia</li> </ul>
<b>Tampere</b>	Kuntaliiton ohjeiden mukaiset	Kuntaliiton ohjeiden mukaiset
<b>Turku</b>	<p>I &amp; II-lk: Kunnossapitoa haittaava lumivallit poistetaan viikon kuluessa</p> <p>Lumen kasaaminen palopostien, muuntamoiden, jakokaappien ja muiden vastaavien laitteiden läheisyyteen siten, että ne peittyvät tai niiden käyttäminen tai huoltaminen estyy, on kielletty. Lisäksi on kiellettyä kasata lunta istutusalueiden ja taideteosten päälle tai läheisyyteen</p>	<p>Lumen kuljetuksen aloittamisen perusteet:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>-Lumitilojen täyttyminen siten, että lumen lähisiirto ei enää tule kysymykseen</li> <li>-vallit kaventavat liiaksi ajorataa</li> <li>-vallit estävät tarvittavan näkemäalueiden ylläpitämisen</li> <li>-vallit aiheuttavat sulaessaan todennäköisesti liukkaus-, jäätymis- tms. ongelmia</li> <li>-vallit täyttävät pysäköintitilaa</li> <li>-vallit aiheuttavat liikenneturvallisuusriskin tai muun turvallisuusriskin</li> </ul>
<b>Vantaa</b>	Kuntaliiton ohjeiden mukaiset	Kuntaliiton ohjeiden mukaiset

Sekä kuntaliitto että kaupungit ovat antaneet ohjeet lumivallien sallitusta korkeudesta näkemäalueilla. Kuvassa 21 esitetty Kuntaliiton antama ohje, jota suurimmassa osassa kaupunkeja käytetään. Taulukossa 16 on esitetty kaikkien viiden kaupungin sallitut lumivallien korkeudet.



Kuva 21. Lumivallien sallitut korkeudet näkemäalueella (Kuntaliitto 2008)

Taulukko 16. Sallitut lumivallien maksimikorkeudet näkemäalueella jokaisessa kaupungissa

Kaupunki	Lumivallin maksimikorkeus suojatien lähellä (m)	Lumivallin maksimikorkeus näkemä- alueella (m)
Helsinki	< 1,0	< 0,6
Jyväskylä	0,8	0,5
Tampere	< 1,0	< 0,6
Turku	1,0	0,5
Vantaa	< 1,0	< 0,6



#### 4.1.4 Lumenvastaanottopaikat

Helsingissä on eniten lumenvastaanottopaikkoja verrattuna muihin tutkimuksessa mukana oleviin kaupunkeihin, yhteensä kahdeksan. Varapaikkoja Helsingissä on neljä. Lisäksi on kaksikymmentä pelkästään lähikäyttöön tarkoitettua paikkaa. Helsinki eroaa muista kaupungeista myös siten, että ainoastaan Helsingissä lumenkaato mereen on sallittu siihen osoitetussa lumenvastaanottopaikassa. Helsingissä on lisäksi kaksi lumensulatusallasta. Runsaslumisina talvina vuosina 2010 ja 2011 Helsingissä suurin osa varapaikoista jouduttiin avaamaan, sillä varsinaisien paikkojen kapasiteetti täyttyi. Vastaanottomaksu on pääkaupunkiseudulla yhteisesti sovittu Espoon, Helsingin ja Vantaan kesken 17,50 euroa kuormalta.

Jyväskylässä on yhteensä viisi lumenvastaanottopaikkaa, muttei yhtään varapaikkaa. Lumenvastaanottopaikkojen kapasiteetti on riittänyt, mutta talvina 2009–2010 ja 2010–2011 ne olivat lähes täynnä. Lumenvastaanottopaikat sijaitsevat maantieteellisesti ihanteellisesti, sillä niiden kuljetusmatkat ovat keskimäärin vain 5-6 kilometriä. Ne sijaitsevat myös kaukana asutuksesta, joten niistä ei ole juuri tullut valituksia asukkailta. Vastaanottomaksu oli vuonna 2012 yhden euron tuotua kuutiometriä kohden, tulevaisuudessa maksu peritään mahdollisesti kuormakohtaisesti.

Tampereella on kaksi varsinaista lumenvastaanottopaikkaa Hakametsässä ja Lielahdessa sekä yksi varapaikka Hervannassa. Hakametsä on näistä paikoista ainoa, joka on varsinaisesti rakennettu lumenvastaanottopaikaksi, Lielahden vastaanottopaikka on hiekkakenttä ja Hervannassa maankaatopaikan yhteydessä. Hakametsään on vastaanottopaikan rakentamisen jälkeen rakennettu asuintaloja, joiden asukkaat ovat myöhemmin valittaneet muun muassa vastaanottopaikan melusta ja maisemahaitoista. Valituksien takia Tampereella on pohdittu Hakametsän vastaanottopaikan sulkemista. Runsaslumisina talvina varsinaiset vastaanottopaikat eivät ole riittäneet ja varapaikka on jouduttu ottamaan käyttöön. Hakametsän vastaanottopaikan mahdollisen sulkemisen jälkeen vastaanottokapasiteetti ei ole riittävä, vaan tilalle tulisi saada uusi alue lumenvastaanottoon. Tampereella lumenvastaanottomaksu on kuormalta 15 euroa.

Tampereen kaupungin ympäristösuojelumääräykset määrittävät rajat lumenvastaanotto-  
paikoille seuraavasti:

*”Lumenkaatopaikkaa ei saa sijoittaa pohjavesialueelle eikä vesistöön. Lumenkaatopaikka tulee sijoittaa ja sitä tulee hoitaa siten, ettei toiminnasta aiheudu ympäristön pilaantumista, kohtuutonta haittaa asutukselle tai muulle maankäytölle eikä roskaantumista tai vettymishaittaa naapurikiinteistölle. Sulamisvedet tulee selkeyttää ennen niiden johtamista ojaan tai vesistöön. Lumen vastaanottopaikan haltijan on huolehdittava alueen siivoamisesta välittömästi lumen sulamisen jälkeen.”*

Turussa on kaksi varsinaista lumenvastaanottopaikkaa ja seitsemän varapaikkaa. Lumenvastaanottopaikat sijaitsevat Orikedolla ja Iso-Heikkilässä. Runsaslumisina talvina 2009–2010 ja 2010–2011 varapaikkoja on jouduttu ottamaan käyttöön, muttei kuitenkaan kaikkia. Suurin osa vastaanottopaikoista sijaitsee Turun taajama-alueella ja niiden käyttöönotto on aiheuttanut usein valituksia alueiden asukkailta muun muassa melun ja näköhaittojen takia. Lumenvastaanottopaikkojen hoidosta vastaa Turun seudun kuntatekniikka Oy. Turun kaupungin valtuusto päätti syksyllä 2011 kaatopaikkamaksun käyttöön otosta. Maksu on otettu käyttöön talvella 2011- 2012 ja sen suuruus on 15 euroa kuormalta. Lumensijoituspaikoille on hankinnassa kulunvalvontajärjestelmät, mutta toistaiseksi alueilla kuormat on kirjattu käsin. Jokaisesta tuodusta kuormasta on autoilijan itse täytettävä portilla lomake ja pudotettava sen suljettuun postilaatikkoon. Kiinteistöliikelaitos laskuttaa täytettyjen lomakkeiden perusteella lumensijoituspaikoille tuodut kuormat. Jos lomaketta ei täytetä, evää Kiinteistöliikelaitos autoilijalta oikeuden lumen kuljettamiseen lumensijoituspaikoille Turussa. Lisäksi lumenvastaanottoalueilla on kameravalvonta. (Turun kaupunki 2011c.)

Vantaalla on kolme yleisessä käytössä olevaa lumenvastaanottopaikka, joista yksi on pelkästään Vantaan kaupungin oman kunnossapidon käytössä. Lisäksi on yksi varapaikka. Lumenvastaanottopaikat ovat kaikki portein tai puomein varustettuja, jolloin kuoman tuomiseen tarvitaan tunniste ajoneuvoon. Lumen kuljetusmatkat ovat Vantaalla yleensä viidestä kymmeneen kilometriin. Pääkaupunkiseudun lumenvastaanottopaikkoja saavat käyttää kaikki kolme kuntaa (Helsinki, Espoo ja Vantaa) ja hinta on kaikille sama. Taulukkoon 17 on koottu yhteenveto kaupunkien lumenvastaanottopaikoista.

*Taulukko 17. Yhteenveto lumenvastaanottopaikoista*

	Lumen vastaanotto- paikkojen lukumäärä	Vastaanotto- maksu	Keskimääräinen kuljetusmatka	Kulunvalvonta- järjestelmä
<b>Helsinki</b>	8 + 4 varapaikkaa (+20)	17,50 e / kuorma	10 km	Ajoneuvo kohtainen tunnistin & puomit
<b>Jyväskylä</b>	5	15 e / kuorma *	5 km	-
<b>Tampere</b>	2 + 1 varapaikka	15 e / kuorma	5 km	Ajoneuvo kohtainen tunnistin & portit
<b>Turku</b>	2 + 7 varapaikkaa	15 e / kuorma		Kameravalvonta & käsi- kirjaus
<b>Vantaa</b>	3 + 1 varapaikkaa	17,50 e / kuorma	7 km	Ajoneuvo kohtainen tunnistin & puomit

\* 1€/m<sup>3</sup> hinnalla arvioitu kuorman hinta

Lumenvastaanottomaksu käytetään yleensä vastaanottopaikan hoitoon ja ylläpitoon. Vantaan kaupungin tehtäväkorteissa on määriteltä, että vastaanottopaikan hoitoon sisältyy seuraavat tehtävät:

- Vastaanottopaikan syksyinen toimintakuntoon saattaminen
- Puomin avaaminen ja sulkeminen
- Vastaanottopaikan hoito aukioloaikoina
- Vastuu vastaanottopaikan turvallisuustoimenpiteistä
- Tuotujen lumikuormien lukumäärän raportointi erikseen sovitulla tavalla
- Lumen käsittely siten, että lumen vastaanotto ei keskeydy
- Keväinen ja kesäinen alueen siistiminen
- Lumenvastaanottopaikalle johtavan tien kesä- ja talvikunnossapito

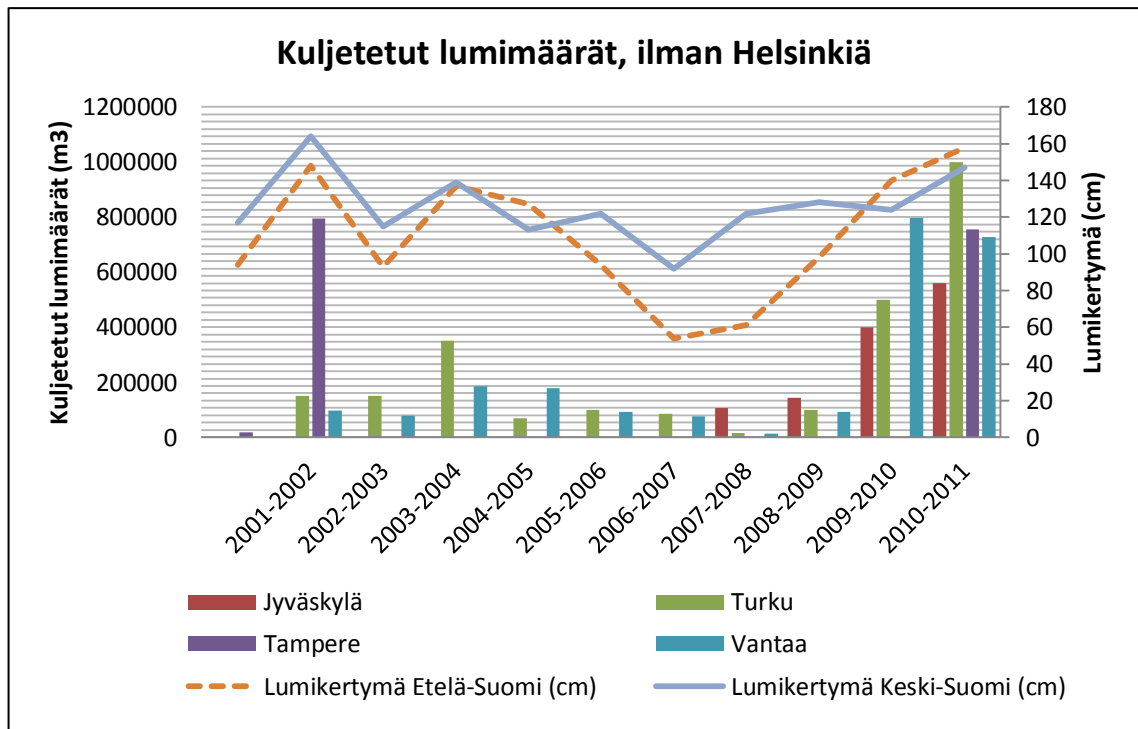
Lumen kuljetusmäärät vaihtelevat talvien mukaan. Kuljetusmäärät ovat luonnollisesti riippuvaisia lumikertymästä. Runsaslumisena talvena kuljetusmäärät ovat jopa kymmenkertaisia verrattuina vähälumiseen talveen. Taulukossa 18 on esitetty kaupunkien lumenkuljetusmäärät kuutioina vuosilta 2001–2011 siltä osin kuin kaupungit ovat niitä tilastoineet. Jyväskylän vuosina 2007–2009 määrät on arvioitu keskusta-alueelta vietyjen lumikuormien perusteella. Helsingin lumimäärissä on mukana ainoastaan virallisille lumenvastaanottoaikoihin kuljetetut määrät.

*Taulukko 18. Lumenkuljetusmäärät (m<sup>3</sup>) tutkittavissa kaupungeissa.*

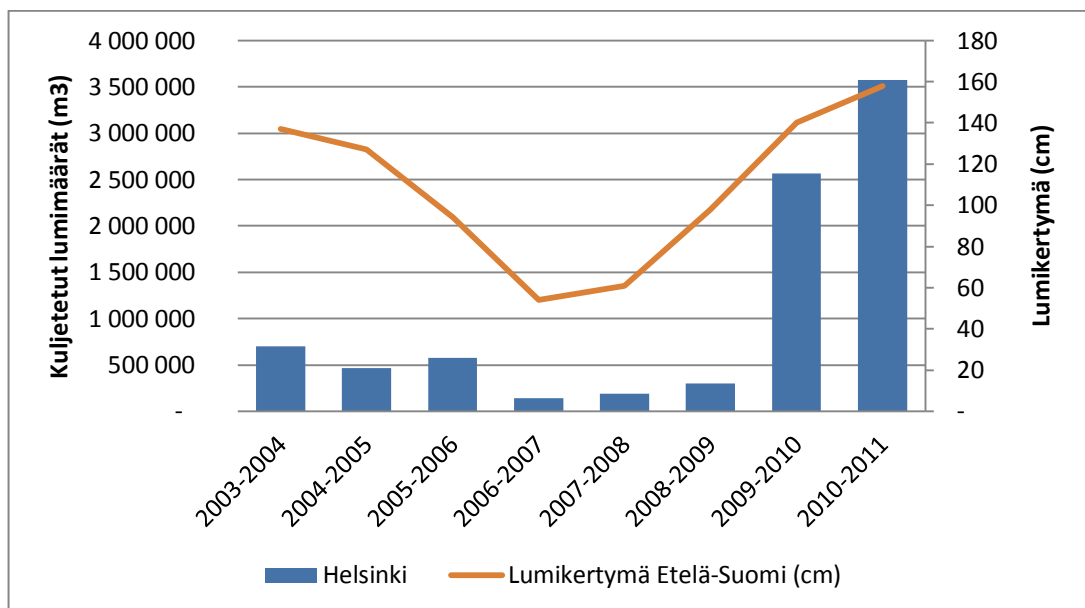
vuosi	Helsinki	Jyväskylä	Turku	Tampere	Vantaa	Lumikertymä Helsinki (cm)	Lumikertymä Jyväskylä (cm)
2001-2002	*	*	150 000	794 000	97 000	148	164
2002-2003	*	*	150 000	*	79 000	93	115
2003-2004	700 000	*	350 000	*	186 000	137	139
2004-2005	4 604 000	*	70 000	*	179 000	127	113
2005-2006	574 000	*	100 000	*	93 000	94	122
2006-2007	141 000	*	85 000	*	76 000	54	92
2007-2008	188 000	98 000**	15 000	*	13 000	61	122
2008-2009	298 000	131 000**	100 000	*	93 000	98	128
2009-2010	2 569 000	399 000	500 000	*	796 000	140	124
2010-2011	3 577 000	560 000	1 000 000	756 000	727 000	158	147

\* ei tietoa saatavilla, \*\* laskettu toisen luvun perusteella

Taulukon lukuja on havainnollistettu kuvissa 22 ja 23. Helsingin auraspinta-ala on yli kaksinkertainen verrattuna muihin kaupunkeihin, joten lumenkuljetusmäärät ovat siten myös paljon suuremmat. Siitä syystä Helsingin kuljetusmääriä ja lumikertymää tutkitaan erikseen (kuva 23). Kuvassa 22 olevat Etelä- ja Keski-Suomen lumikertymät ovat Helsingin ja Jyväskylän arvoja, mutta ne on tässä tapauksessa yleistetty koskemaan laajemmin koko Etelä- ja Keski-Suomea.



Kuva 22. Kuljetetut lumimäärät ilman Helsinkiä sekä Etelä- ja Keski-Suomen lumikertymät.



Kuva 23. Helsingissä kuljetetut lumet ja Etelä-Suomen lumikertymä.

## Lumen varavastaanottopaikat

Helsingissä, Tampereella, Turussa ja Vantaalla on varauduttu runsaslumisiin talviin lumen varavastaanottopaikoilla. Ainoastaan Jyväskylällä ei ole käytössä varavastaanottopaikkoja, vaan nykyiset varavastaanottopaikat ovat riittäneet. Varavastaanottopaikat otetaan käyttöön silloin, kun varsinaiset vastaanottopaikat ovat täyttymässä tai jo täyn-

nä. Runsaslumisina talvina kuten 2009–2010 ja 2010–2011 varapaikkoja jouduttiin ottamaan käyttöön.

### **Paikalliset lumenkasauspaiikat**

Helsingin kaupunki (2010b) on tehnyt Munkkiniemen alueelle aluesuunnitelman osana oma suunnitelman lumilogistiikalle. Runsaslumisina talvina alueen lähin vakituinen noin viiden kilometrin päässä sijaitseva lumen vastaanottopaikka Maununnevalalla on täyttynyt ja se on jouduttu sulkemaan. Runsaslumisiin talviin varaudutaan lumen varavastaanottopaikoilla, pitkäaikaisilla paikallisilla lumen kasauspaiikoilla sekä lyhytaikaisilla paikallisilla lumen kasauspaiikoilla. Pitkäaikaisille paikoille lumi saa sulaa, mutta lyhytaikaisilta paikoilta lumi kuljetetaan pois.

Varavastaanottopaikkoja on sijoitettu Metsäläntien varressa sijaitsevalle hiekkakentälle sekä Munkkiniemen uimarannan pysäköintialueelle ja sen edustan merialueelle. Pitkäaikaisia lumenkasauspaiikkoja ovat pieni kenttä Lapinmäentien ja Niemenmäentien kulmauksen itäpuolella, Talinpuiston viheralue ja liikuntapuiston laita sekä Munkkiniemen sillan lounaispuolen rantakaista. Lyhytaikaisia lumenkasauspaiikkoja ovat Talinpuiston kenttäalue, Porintien yleinen pysäköintipaikka ja Munkinpuiston pienet kentät Nuottapolun päässä. Varavastaanottopaikat otetaan käyttöön portaittain.

Pitkäaikaisille lumenkasauspaiikoille, joissa lumi saa sulaa paikalleen, on annettu seuraavat ohjeelliset kriteerit:

- kaupungin maanomistus
- toimiva ajoyhteys
- aukea, kooltaan yli 400 m<sup>2</sup> alue
- ei pysyviä rakenteita tai varjeltavaa kasvillisuutta
- ei hoitoluokkien A1, B5, C5 alue
- A2-luokan kenttien käyttömahdollisuudet selvitetään tapauskohtaisesti
- ei asuntokatujen varteen
- sulamisvesien käsittely on mahdollista järjestää asianmukaisesti
- ei liikenteen näkemäalueille eikä pelastusreiteille

Lyhytaikaisille lumenkasauspaiikoille, joista lumi ajetaan lumen vastaanottopaikalle, on annettu vastaavat ohjeet, mutta sulamisvesien käsittelyä ei tarvitse järjestää.

Lumenkasauspaiikat vaativat esivalmisteluja syksyisin ja jälkihoitoa keväällä lumen sulattua. Syksyllä urakoitsijan kanssa pidetään katselmus käytettävistä lumenkasauspaiikoista. Tarvittaessa paikalta poistetaan ajoesteet ja alue siistitään. Jos lumikasoja joudutaan sijoittamaan rakenteiltaan tai kasvillisuudeltaan aralle alueelle, suojeltavat kohteet suojataan tai osoitetaan varoitusmerkein. Paras pohja olisi sora- tai sepelipinta Keväisin tehdään kevätsiivous, jossa muun muassa poistetaan hiekka ja roskat. Mahdolliset rik-

koutuneet rakennepinnat, varusteet ja liikennemerkkit korjataan. Lisäksi nurmipinnat pitää uusida ja muu kasvillisuus hoitaa, esimerkiksi pensaat leikata.

#### 4.1.5 Talvihoidon kustannukset

Rapal Oy on kerännyt kustannustietoa suurimpien kuntien ylläpitokustannuksista. Alla olevassa taulukossa 19 on esitetty vuosien 2009 ja 2010 yleisten alueiden ylläpitokustannukset ja talvihoidon kustannukset. Kustannukset on kerätty vuosittain (tammi-joulukuu).

*Taulukko 19. Talvihoidon kustannukset tutkittavissa kaupungeissa (Rapal 2011). Kustannukset on ilmoitettu miljoonina euroina.*

	Kustannukset vuonna 2010 (M€)		Kustannukset vuonna 2009 (M€)	
	Talvihoito	Yleisten alueiden ylläpito	Talvihoito	Yleisten alueiden ylläpito
<b>Helsinki</b>	30,30	69,10	21,20	69,20
<b>Jyväskylä</b>	3,90	11,60	3,50	11,80
<b>Tampere</b>	6,30	21,50	6,40	22,10
<b>Turku</b>	6,00	17,00	4,20	16,50
<b>Vantaa</b>	4,40	14,40	1,90	11,40

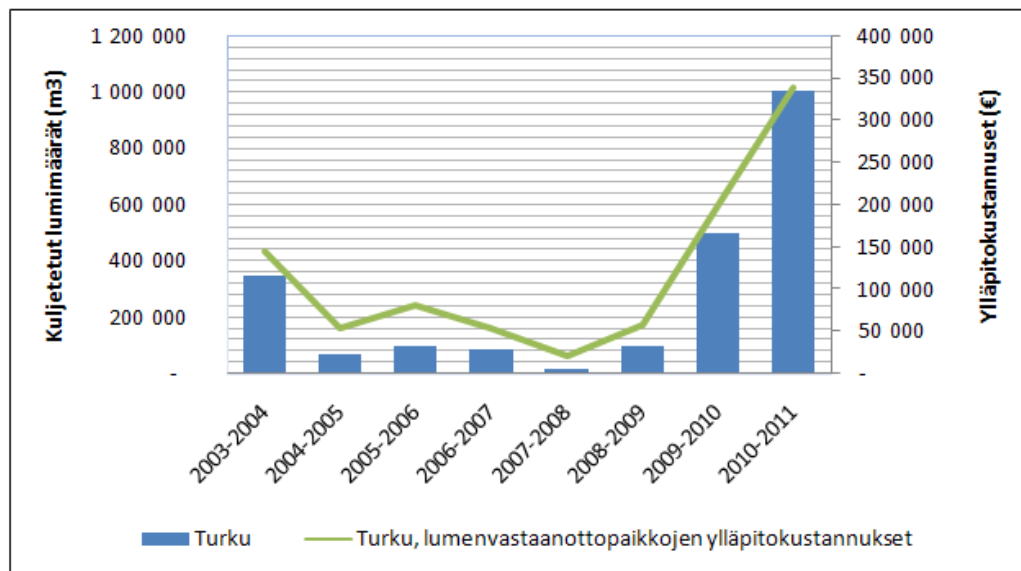
Talvihoidon osuus koko ylläpidosta on huomattavan suuri. Vuonna 2010 talvihoidon osuus oli jopa 44 % yleisten alueiden ylläpidonkustannuksesta Helsingissä. Talvihoitokustannuksia ei voi suoraan verrata auraspinta-alaan, sillä esimerkiksi Turussa ja Vantaalla on lähes yhtä paljon aurattavaa pinta-alaa, mutta talvihoitokustannuksissa on selvästi eroa. Taulukossa 20 on esitetty kaupunkien talvihoitokustannukset aurattavaa neliötä kohden.

*Taulukko 20. Kaupunkien talvihoitokustannukset euroina aurattavaa neliötä kohden*

	Talvihoitokustannukset aurattavaa m <sup>2</sup> -kohden	
	Kustannukset vuonna 2010 (€)	Kustannukset vuonna 2009 (€)
<b>Helsinki</b>	2,01 €	1,40 €
<b>Jyväskylä</b>	0,72 €	0,65 €
<b>Tampere</b>	0,81 €	0,82 €
<b>Turku</b>	0,79 €	0,55 €
<b>Vantaa</b>	0,57 €	0,25 €

Kaupunkien mukaan talvihoidon suurimmat kustannustekijät ovat lumen aeraus, katujen suolaus ja hiekoitus sekä lumen kuljettaminen lumen vastaanottopaikoille. Talvihoidon kustannukset jakaantuvat koko vuodelle, sillä lumenvastaanottopaikkojen kunnostusta joudutaan tekemään myös kesäisin, varsinkin runsaslumisten talvien jälkeen.

Lumen aurauksen ja liukkaudentorjunnan kustannuksiin on vaikea vaikuttaa. Laatu- ja toimivuusvaatimusten mukaisesti lumi on poistettava ajoradalta ja liukkautta torjuttava jo turvallisuudenkin vuoksi. Lumenkuljetuksen kustannuksiin voidaan kuitenkin vaikuttaa lyhentämällä kuljetusmatkoja sekä varaamalla kaduille tarpeeksi suuret lumitilat ja lumelle riittävästi lähisiirtopaikkoja. Lumen kuljetuksella on suuret vaikutukset myös lumen vastaanottoaikkujen ylläpitokustannuksiin. Kuvasta 24 ovat esimerkkeinä Turun kaupungin kuljettamat lumimäärät ja lumenvastaanottoaikkujen ylläpitokustannukset.



Kuva 24. Turun kaupungin kuljettamat lumimäärät ja lumenvastaanottoaikkujen ylläpitokustannukset vuosina 2001–2011

#### 4.1.6 Talvihoidon suurimmat ongelmat

Jokaisella kaupungilla on ollut talvihoito-ongelmia runsaslumisina talvina 2009 – 2010 ja 2010 – 2011. Seuraavaksi on esitetty kaupunkien suurimmat talvihoitoon liittyvät ongelmat.

##### Puutteelliset lumitilat

Kaikissa kaupungeissa yhdeksi suuremmista ongelmista nostettiin lumitilan riittämättömyys varsinkin asuntokaduilla. Asuntokadut kuuluvat yleensä hoitoluokkaan III eli ne puhdistetaan lumesta vasta muiden katujen jälkeen. Se aiheuttaa asuntoalueilla paljon ongelmia, sillä lumi kasaantuu ja saattaa jopa estää liikkumista. Jos lumelle olisi varattu riittävä tila kadun varressa tai asuntoalueella olisi jokin paikka, johon lumen voisi siirtää, nopeuttaisi se alueen siivousta ja parantaisi viihtyvyyttä. Varsinkin uusimmilla asuinalueilla kadut on rakennettu niin tiiviisti, ettei auratulle lumelle ole juuri tilaa. Myös vanhemmilla alueilla ongelmia esiintyy. Kuvassa 25 on esimerkkinä kuva Jyväskylän Roninrinteestä, joka on rakennettu 1980-luvulla. Ongelmia aiheuttavat myös

kiinteistöjen lumet, joita läjitetään katualueelle, vaikka kiinteistöjen tulisi vastata itse niiden kuljetuksesta vastaanottopaikoille.



*Kuva 25. Ahdas katutila Jyväskylässä Roninrinteessä, jossa lumitilat ovat pienet ja hankalasti hyödynnettävät, koska katualueen rajaa aita. Kuvasta nähdään, että lunta on jouduttu kuljettamaan pois.*

Runsaalla lumisateella ongelmaksi on muodostunut väliaikaisten läjityspaikkojen puute. Tie ehditään aurata, mutta ei ole paikkoja, joihin suuren lumimäärän voisi työntää. Vantaalla on jouduttu muun muassa ottamaan jalkakäytäviä väliaikaisiksi lumensäilytyspaikoiksi ja siitä on aiheutunut jalankulkijoille haittaa (2012b Vantaa).

Riittävät lumitilat tulisi osoittaa jo kaavoituksessa. Kaavoittaessa otetaan kuitenkin ensisijaisesti huomioon kaupunkikuva, maastonmuodot ja tonttien mahdollisimman tehokas käyttö. Kaavoitusta ei olisi tarkoitustaan tehdä pelkästään ylläpidon ehdoilla tai sen vuoksi, mutta jos ylläpito jätetään huomiotta, aiheutuu siitä myöhemmin suuret kustannukset muun muassa lumen kuljetuksen ja aurausvaurioiden vuoksi veronmaksajille.

Myös kadunvarsipysäköinnin aiheuttamia ongelmia korostettiin haastatteluissa. Pysäköinti vaikeuttaa kadun kunnollista auraamista ja toisaalta kaduilla oleva lumi estää asukkaita käyttämästä pysäköintipaikkoja. Helsingissä on kokeiltu osalla kaduilla vuoropysäköintiä helpottamaan talvihoitoa. Myös Jyväskylässä vuoropysäköinti on vakiintunut käytäntö talvisin. Vuoropysäköinnissä vain toinen puoli kadusta on pysäköintikäytössä. Vuoropysäköintiä käytettäessä täytyy kuitenkin varmistaa, että pysäköintipaikkoja on riittävästi tarjolla ja ettei asukkaille aiheudu liikaa haittaa.



## Lumen kuljetus ja siitä aiheutuneet päästöt

Helsingissä lunta kuljetetaan pitkiä matkoja ja kaupungin osat ovat eriarvoisessa asemassa sen suhteen, missä lumen vastaanottoaikat sijaitsevat. Ihanteellista olisi, että lumi voitaisiin käsitellä siinä kaupunginosassa, mihin se on satanut. Jos asuinalueilla ei ole tarpeeksi tilaa lumella, joudutaan lumi kuljettamaan pois, mahdollisesti jopa toiseen kaupunginosaan.

Helsingissä kuljetettiin talvena 2010 - 2011 noin 320 000 kuormallista lunta lumenkaatopaikoille eli yhden kuorman ollessa 15 m<sup>3</sup>, kuljetettiin lunta yhteensä noin 5 125 000 m<sup>3</sup>. Keskimääräinen kuljetuslenkki oli noin kymmenen kilometriä. Jos kuorma-auton arvioidaan kuluttavan 40 litraa dieseliä sadalla kilometrillä ja hiilidioksidia syntyvän 2,66 kg/l, aiheutui pelkästään lumenkuljetuksesta arviolta 3 200 000 kg hiilidioksidipäästöjä.

Lumenkuljetuksesta aiheutuu myös melua. Jos lumenvastaanottoaika sijaitsee lähellä asutusta, häiritsee kuljetuksesta aiheutuva melu alueen asukkaita. Lunta on kuljetettava silloin kun muuta liikennettä on vähän eli useimmiten yöaikaan. Yöaikaan melu kuitenkin häiritsee eniten asukkaita. Turussa suurin osa lumen varavastaanottoaikoista sijaitsee taajama-alueella, joten niiden käyttöönotto aiheuttaa alueiden asukkaissa suurta vastustusta. Taulukkoon 21 on eritelty talvihoidon suurimmat ongelmat eri kaupungeissa.

Taulukko 21. Yhteenvedo talvihoidon suurimmista ongelmista

	Helsinki	Jyväskylä	Tampere	Turku	Vantaa
<b>Lumen kuljetuksen kustannukset &amp; päästöt</b>	x			x	
<b>Puutteelliset lumitilat</b>	x	x	x	x	x
<b>Kadunvarsipysäköinti</b>	x			x	
<b>Vastaanottoaikojen puute</b>	x		x		x
<b>Asukkaiden valitus kuljetuksesta</b>	x		x	x	

## Ongelmien ratkaisutapoja

Helsingin kaupunki on runsaslumisten talvien 2009–2010 ja 2010–2011 jälkeen tehnyt varautumissuunnitelman eli suunnitelman siitä, miten kaupunki pidetään toimintakuntoisena, vaikka lunta tulee paljon. Sen mukaan erikoistoimet aloitetaan tai niitä on ainakin vakavasti harkittava silloin, kun lumen paksuus ylittää 35 senttimetriä ja 14 päivän liukuva lumikertymä (myös hyvällä varmuudella ennustettu) ylittää 35 senttimetriä tai 7 päivän lumikertymä ylittää 30 ja 5-10 vuorokauden sään ennustetaan pysyvän pakkasella. Erityistoimia ovat mm.

- pysäköintijärjestelyt ja -kiellot
- siirtokehotukset ja ajoneuvojen siirto

- lumen säilyttäminen katualueilla
- lumen kuljettaminen ja varavastanottopaikkojen avaaminen

Ylläpitoa helpotetaan myös suunnittelun keinoin. Jyväskylässä sijaitseva Mustalammen asuinalue (kuva 26) on suunniteltu hyvin ylläpidon näkökulmasta. Kadut on rakennettu rengasmaisesti, joten auraus on helpompaa, kun aurauskaluston ei tarvitse peruuttaa tai kääntyä ympäri. Alueelta joudutaan kuitenkin kuljettamaan lunta pois eli lumitilat eivät ole riittävät. Asuinalue on myös hyvä esimerkki siitä, että siellä on potentiaalisia paikkoja katujen päädyissä ja tonttien reunoilla, joihin olisi mahdollista tehdä lumen lähisiirtopaikkoja.



*Kuva 26. Mustalammen asuinalue (Jyväskylän karttapalvelu)*

Useassa kunnassa kaavoittajat ja katusuunnittelijat ovat olleet kiinnostuneita tekemään enemmän yhteistyötä ylläpidon kanssa, jotta suunnitteilla olevat katualueet saataisiin paremmin ylläpidettäviksi. Esimerkiksi Vantaalla on vuoden 2015 asuntomessualueen suunnittelun yhteydessä pohdittu, voisiko alueelle jättää paremmin tilaa lumelle.

## 4.2 Lumitaseen laskenta

### 4.2.1 Esimerkkikadut

Lumitaselaskelmat on laskettu erilaisille todellisille poikkileikkauksille Helsingissä ja Jyväskylässä. Esimerkkikaduiksi on valittu erilaisia asunto- ja kokoojakatuja. Helsingissä on lisäksi otettu huomioon katujen rakennusajankohta. Kyläkunnantie ja Pakilantie Helsingissä ovat esimerkkejä vanhemmasta rakentamisesta, sillä niiden katualueet ovat muodostuneet jo 1950-luvulta nykyisenlaisikseen. Viikissä sijaitsevat Tilanhoitajankaari ja Simo Klemetin pojantie taas ovat esimerkkejä 2000-luvun rakentamisesta. Jyväskylän kaduissa ei rakentamisajankohtaa ole niinkään otettu huomioon, kaikki esimerkkikadut ovat 2000-luvulta. Vältie on rakennettu 1980-luvulla, mutta se osuus jolle tässä tutkimuksessa lumitaselaskelmat lasketaan, on saneerattu 2011. Vältien katutilan leveys on kuitenkin peräisin rakennusajalta.

Jyväskylän kaduille on laskelmat tehty Vältietä lukuun ottamatta koko kadun pituudelle. Helsingin kaduilla taas on otettu vain osa katua mukaan laskelmiin. Kyläkunnantien osuus rajautuu Työmiehenkujaan ja Markelininpolkuun, Pakilantie Lepolantiehen ja Papinmäentiehen. Tilanhoitajankaari rajautuu Kevätkatuun ja Simo Klemetinpojan tiehen. Simo Klemetinpojan tien pituuteen on mukaan laskettu myös Erik Spåren tie, joka jatkuu Simo Klemetinpojan tiestä. Taulukoissa 22 ja 23 on esitetty esimerkkikatujen perustiedot. Poikkileikkaukset on esitetty liitteessä 4.

Taulukko 22. Esimerkkikatujen poikkileikkaustiedot Helsingissä

<i>Kadunnimi</i>	<i>Katuluokka</i>	<i>Pituus (m)</i>	<i>Ajoradan leveys (m)</i>	<i>KLV:ien leveys (m)</i>	<i>Lumitilat yhteensä (m)</i>	<i>Lumitila/ aurattava- ala</i>
<b>Kyläkunnantie</b>	Asuntokatu	450	7	2	2,4	0,27
<b>Pakilantie</b>	Kokoojakatu	350	13,3	8,4	2,8	0,13
<b>Simo Klemetin pojantie</b>	Asuntokatu	630	3,5	2,2	3	0,53
<b>Tilanhoitajan- kaari</b>	Kokoojakatu	513	13,3	8	7,8	0,37

Taulukko 23. Esimerkkikatujen poikkileikkaustiedot Jyväskylässä

<i>Kadunnimi</i>	<i>Katuluokka</i>	<i>Pituus (m)</i>	<i>Ajoradan leveys (m)</i>	<i>KLV:ien leveys (m)</i>	<i>Lumitilat yhteensä (m)</i>	<i>Lumitila/ aurattava-ala</i>
<b>Lukkotie</b>	Asuntokatu	181	5,5	-	6,5	1,18
<b>Teljintie</b>	Asuntokatu	536	5,5	-	7	1,27
<b>Tertunhaka</b>	Asuntokatu	109	5	-	3,4	0,68
<b>Vältien alkupää</b>	Kokoojakatu	258	6	3	3	0,33

Jyväskylän asuinkaduilla lumitilan ja aurattavan alan suhde on selvästi suurempi kuin Helsingin asuinkaduilla. Välttien arvo on lähes sama kuin Helsingin Tilanhoitajankaaren arvo. Luvussa 2.1.4. on esitelty liikenneviraston maanteille antamat vaatimukset lumitilojen leveydestä. Jyväskylän asuinkadut täyttävät sekä tyydyttävän että välttävän lumitilan vaatimukset (taulukko 24). Välttie puolestaan täyttää ainoastaan tilapäisen lumitilan vaatimukset. Helsingissä Simo Klemetinpojan tie sekä Tilanhoitajan kaari täyttävät välttävän lumitilan vaatimukset. Kyläkunnantien lumitila täyttää ainoastaan tilapäisen lumitilan vaatimukset ja Pakilantie ei edes niitä.

*Taulukko 24. Lumitilojen hyvyyden arviointi Liikenneviraston (2010) ohjeiden mukaisesti. Taulukkoon on merkitty vihreällä ne lumitilavaatimukset, jotka lumitila täyttää.*

<i>Kadunnimi</i>	<i>Aurattava alue (m<sup>2</sup>)</i>	<i>Lumitila (m)</i>	<i>Tyydyttävä lumitila (m)</i>	<i>Välttävä lumitila (m)</i>	<i>Tilapäinen lumitila (m)</i>
<b>Kyläkunnantie</b>	9	2,4	3,6	2,3	1,4
<b>Pakilantie</b>	21,7	2,8	8,7	5,4	3,3
<b>Simo Klemetin pojan tie</b>	5,7	3	2,3	1,4	0,9
<b>Tilanhoitajankaari</b>	21,3	7,8	8,5	5,3	3,2
<b>Lukkotie</b>	5,5	6,5	2,8	2,2	0,8
<b>Teljintie</b>	5,5	7	2,8	2,2	0,8
<b>Tertunhaka</b>	5	3,4	2,5	2,0	0,8
<b>Välttien alkupää</b>	9	3	4,5	3,6	1,4

## 4.2.2 Lumitaselaskelmat

### Lumitilojen teoreettinen tilavuus

Kaduille lasketaan ensin teoreettinen lumitila eli kuinka paljon lunta mahtuu varattuihin lumitiloihin. Oletetaan, että katu puhdistetaan lumesta kokonaan eli polannetta ei jää kadun pintaan, ja että lumivallit eivät kavenna ajorataa tai kevyen liikenteen väylää. Teoreettinen lumitila on riippuvainen:

- Lumitilan leveydestä
- Lumivallin sallitusta / mahdollisesta korkeudesta
- Lumivallin muodosta
- Lumen tiivistymisasteesta

Lumivallin korkeus riippuu vallin sijainnista ja kaupungin laatu- ja toimivuusvaatimuksesta. Jos näkyvyys ei rajoita vallin korkeutta, rajoittavat sitä muun muassa tekniset asiat, kuten sortumisvaara. Tiivistymisasteella tarkoitetaan kerrointa, jolla vastasatanut lumi tiivistyy auratessa kadun sivuun. Jos oletetaan, että vastasataneen lumen tiheys on

$\rho_1=100 \text{ kg/m}^3$  ja vallissa lumen tiheys on  $\rho_2=400 \text{ kg/m}^3$ , on silloin tiivistymisaste  $\rho_2/\rho_1 = 400/100 = 4$ .

Lumitilojen **teoreettinen tilavuus** lasketaan kaavalla (12) kertomalla lumitilan poikkipinta-ala kadun pituudella.

$$V_{\text{teor}} = A_{\text{lumitila}} \times L_a, \quad (12)$$

missä  $A_{\text{lumitila}}$  on lumitilan poikkileikkauspinta-ala [ $\text{m}^2$ ]  
 $L_a$  on kadun pituus liittymät huomioon otettuina [m]

Lunta ei voi varastoida liittymiin, joten liittymien osuus tulee ottaa huomioon teoreettista lumitilaa laskettaessa joko prosentiosuuksina tai suoraan vähentämällä kadun pituudesta.

### Kadulle tuleva lumimäärä ja ylijäämä

Kadulle tulevalla lumimäärällä tarkoitetaan lumen määrää, joka talven aikana katualueelle oletetusti tulee. Se on riippuvainen sekä katualueen alasta, lumikertymästä että lumen tiivistymisasteesta. Lumikertymällä tarkoitetaan siis lumen syvyyden positiivisten muutosten summaa. Näissä laskelmissa lumikertymän yksikkö on metri.

Ensiksi lasketaan, mille katualueen pinta-alalle A lunta sataa:

$$A = (a_1 + a_2 + a_3) \times L, \quad (13)$$

missä  $a_1$  on ajoradan leveys [m]  
 $a_2$  on kevyen liikenteen väylien leveys [m]  
 $a_3$  on lumitilojen leveys [m]  
 $L$  on kadun kokonaispituus [m]

Talven aikana kadulla olevan lumen määrä  $V_{\text{lumi}}$  saadaan laskettua kertomalla aiemmin laskettu katualueen ala lumikertymällä ja ottamalla huomioon lumen tiivistymisasteen.

$$V_{\text{lumi}} = \frac{A \times l}{\frac{\rho_2}{\rho_1}} = A \times l \times \frac{\rho_1}{\rho_2}, \quad (14)$$

missä  $A$  on katualueen pinta-ala [ $\text{m}^2$ ]  
 $l$  on lumikertymä [m]  
 $\frac{\rho_2}{\rho_1}$  on tiivistymisaste

Ylijäämä  $V_{\text{ylijäämä}}$  eli se lumimäärä, joka ei mahdu kadun lumitiloihin, saadaan vähentämällä lumen määrästä lumitilojen teoreettinen tilavuus.

$$V_{\text{ylijäämä}} = V_{\text{lumi}} - V_{\text{teor}} = \left( A \times l \times \frac{\rho_1}{\rho_2} \right) - (A_{\text{lumitila}} \times L_a), \quad (15)$$

Ylijäämäarvosta voidaan päätellä seuraavaa:

Jos  $V_{\text{ylijäämä}} \leq 0$ , katualue on omavarainen eli kaikki katualueen lumet mahtuvat niille varattuun tilaan eikä lunta tarvitse kuljettaa pois.

Jos  $V_{\text{ylijäämä}} > 0$ , katualueen lumitila ei ole riittävä, joten lunta joudutaan kuljettamaan pois.

Vertailuluku  $x$  on tunnusluku, jonka perusteella katuja voidaan verrata toisiinsa. Mitä suurempi on vertailuluvun arvo, sitä enemmän kadulla on lunta poiskuljetettavaksi.

$$x = \frac{V_{\text{ylijäämä}}}{A_{\text{aurat}}}, \quad (16)$$

missä  $A_{\text{aurat}}$  on aurattavan alueen pinta-ala [ $\text{m}^2$ ]

Kun tiedetään lumitilojen teoreettinen tilavuus  $V_{\text{teor}}$  ja katualueen pinta-ala  $A$ , voidaan laskea, millaisella lumikertymällä  $l_{\text{max}}$  lumitilat täyttyvät ja lumen kuljetus joudutaan aloittamaan.

$$l_{\text{max}} = \frac{V_{\text{teor}}}{A} \times \frac{\rho_2}{\rho_1}, \quad (17)$$

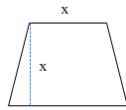
missä  $\frac{\rho_2}{\rho_1}$  on tiivistymisaste.

## Laskentamenetelmät esimerkkikaduille

Esimerkkikatujen lumitaselaskelmat on laskettu seuraavin oletuksin:

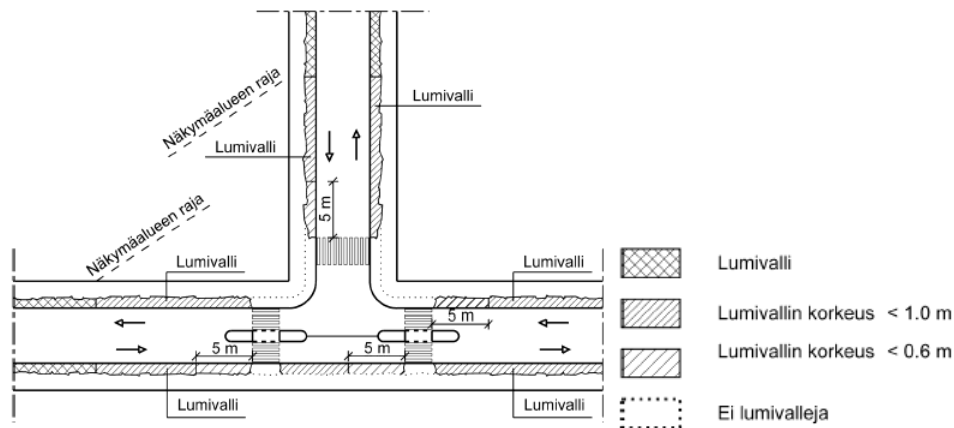
1. Vastasataneen lumen tiheys on  $100 \text{ kg/m}^3$  ja aurousvallissa olevan lumen tiheys  $400 \text{ kg/m}^3$ . Lumen tiivistymisaste on silloin  $\frac{\rho_2}{\rho_1} = \frac{400}{100}$  eli 4.
2. Lumiylijäämät on laskettu kolmelle eri lumimäärälle olettaen, että lunta ei sula välissä pois. (kts. 3.1.1.)
  - a. Runsasluminen talvi
  - b. Normaaliluminen talvi
  - c. Vähäluminen talvi

3. Lumivalli on tasasivuisen puolisuunnikkaan muotoinen, jonka ylemmän sivun leveys (x) on yhtä suuri kuin puolisuunnikkaan korkeus (x).



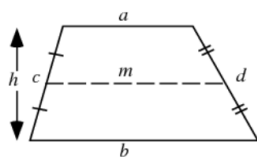
4. Lumivallin maksimikorkeudet 0,6 m ja 1,0 m.

Ensimmäinen oletus on tehty kirjallisuuden perusteella. Toinen oletus on tehty tutkimalla Ilmastokeskukselta saatuja säätilastoja vuosilta 1980–2011. Kolmas oletus perustuu haastatteluihin sekä Bohlinin (2011) tutkimukseen. Neljäs oletus perustuu kaupunkien laatu- ja toimivuusvaatimuksiin näkemäalueilla (kuva 27).



Kuva 27. Lumivallin sallittu korkeus näkemäalueilla

Lumivallin poikkileikkauksen pinta-ala on siis puolisuunnikkaan pinta-ala. Puolisuunnikkaan pinta-ala lasketaan yhdensuuntaisten sivujen pituuksien ja puolisuunnikkaan korkeuden avulla (kuva 28).



Kuva 28. Puolisuunnikas (lähde: mathworld)

$$\text{Eli pinta-ala} = \frac{(a+b) \cdot h}{2}$$

Jos lumitilan leveys on pienempi kuin lumitilan maksimikorkeus (0,6 tai 1,0 m), lasketaan poikkileikkauspinta-ala neliönä.

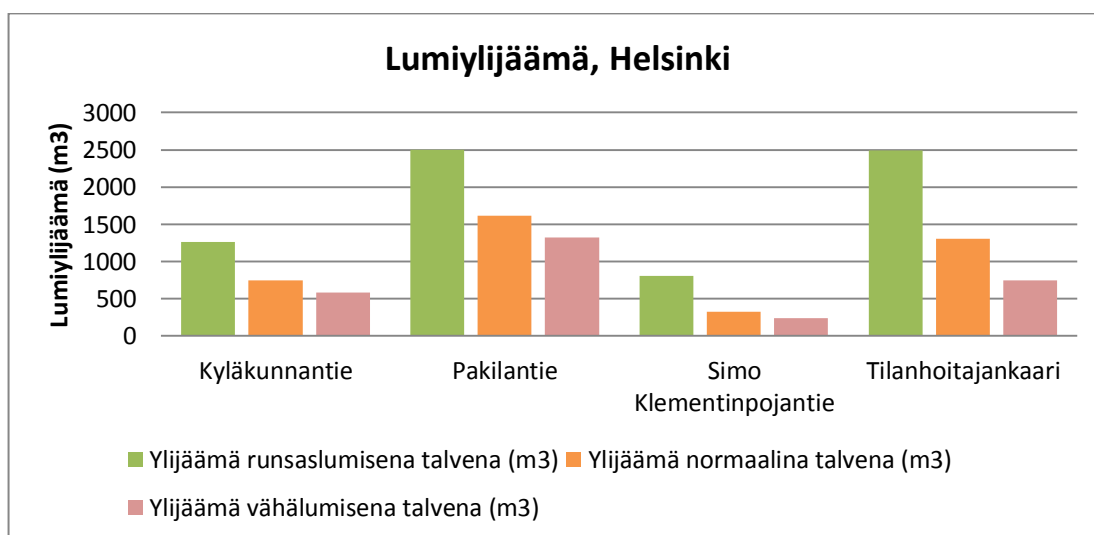
Seuraavaksi on esitetty esimerkkikaduille lasketut tulokset.

## Laskelmat

Taulukossa 25 on esitetty Helsingin ja Jyväskylän esimerkkikaduille tehtyjen laskemien tulokset. Tarkemmat laskelmat ovat liitteessä 6. Laskelmat on tehty kahdelle eri lumivallin maksimikorkeudelle (0,6m ja 1,0m). Teoreettinen tilavuus ja ylijäämät on siksi ilmoitettu vaihteluvälinä. Lumitilojen teoreettista tilavuutta arvioitaessa, on katujen pituuksista vähennetty liittymien osuus, koska tonttiliittymään ei voi kasata lunta. Lisäksi Tilanhoitajankaarella Helsingissä on lumitiloista vähennetty kadunvarsipysäköintiin varatut paikat. Kuvissa 29 ja 30 on esitetty saatujen laskelmien keskiarvot pylväsdiagrammeina.

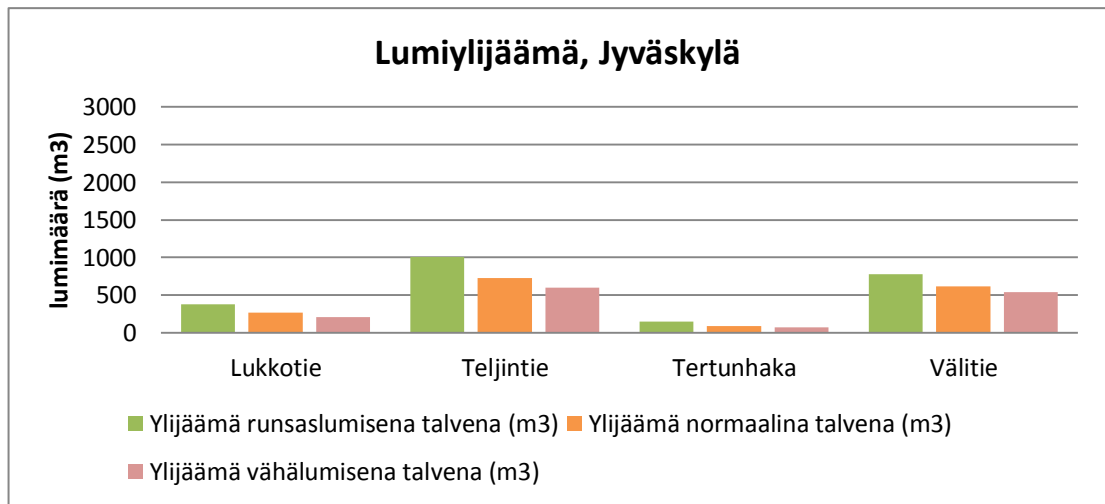
Taulukko 25. Helsingin esimerkkikatujen laskelmat

Kadunnimi	Kadunpituus (m)	Lumitilojen teoreettinen tilavuus (m <sup>3</sup> )	Ylijäämä runsaslumisena talvena (m <sup>3</sup> )	Ylijäämä normaalina talvena (m <sup>3</sup> )	Ylijäämä vähälumisena talvena (m <sup>3</sup> )
Kyläkunnantie	450	410 - 800	1060 - 1450	550 - 940	380 - 770
Pakilantie	350	500 - 960	2270 - 2740	1380 - 1840	1090 - 1550
Simo Klementinpojantie	630	790 - 1580	410 - 1200	0- 650	0- 470
Tilanhoitajankaari	513	1260 - 2390	1930 - 3060	740 - 1870	350 - 1480
Lukkotie	181	310 - 560	250- 510	140 - 400	85 - 340
Teljintie	536	690- 1310	700 - 1320	420 - 1040	290 - 910
Tertunhaka	109	240 - 450	50 - 250	0- 180	0- 150
Välitien alku	258	260 - 510	650 - 910	490 - 740	410 - 670



Kuva 29. Lumiylijäämä Helsingin kaduilla



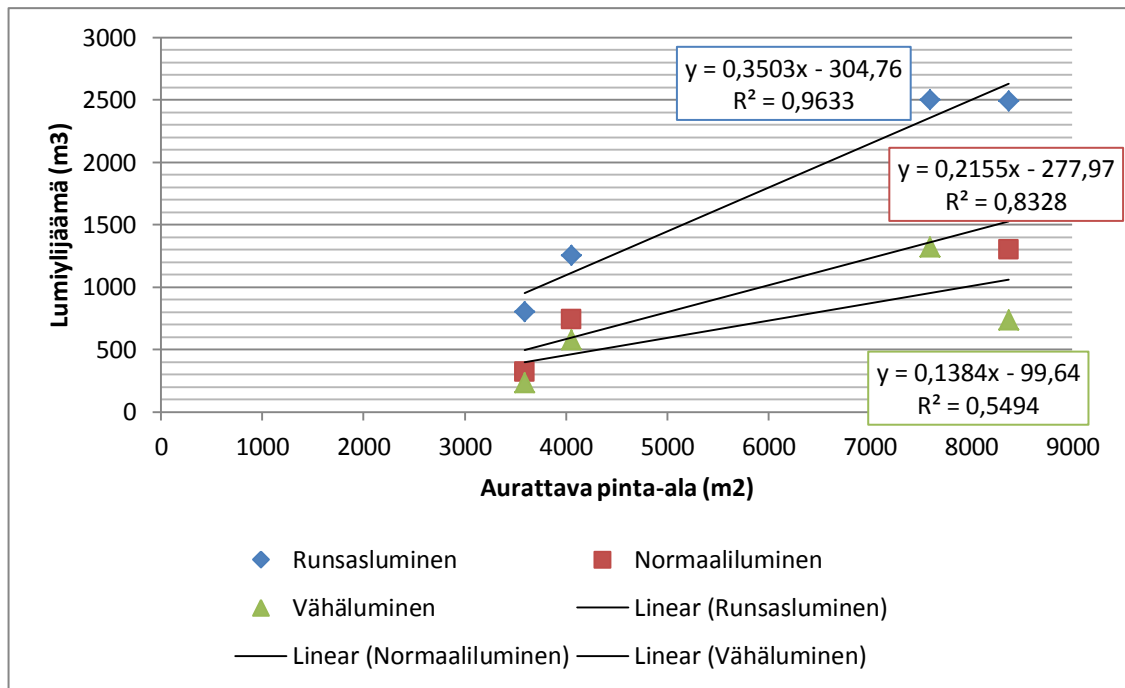


Kuva 30. Lumiylijäämä Jyväskylän kaduilla

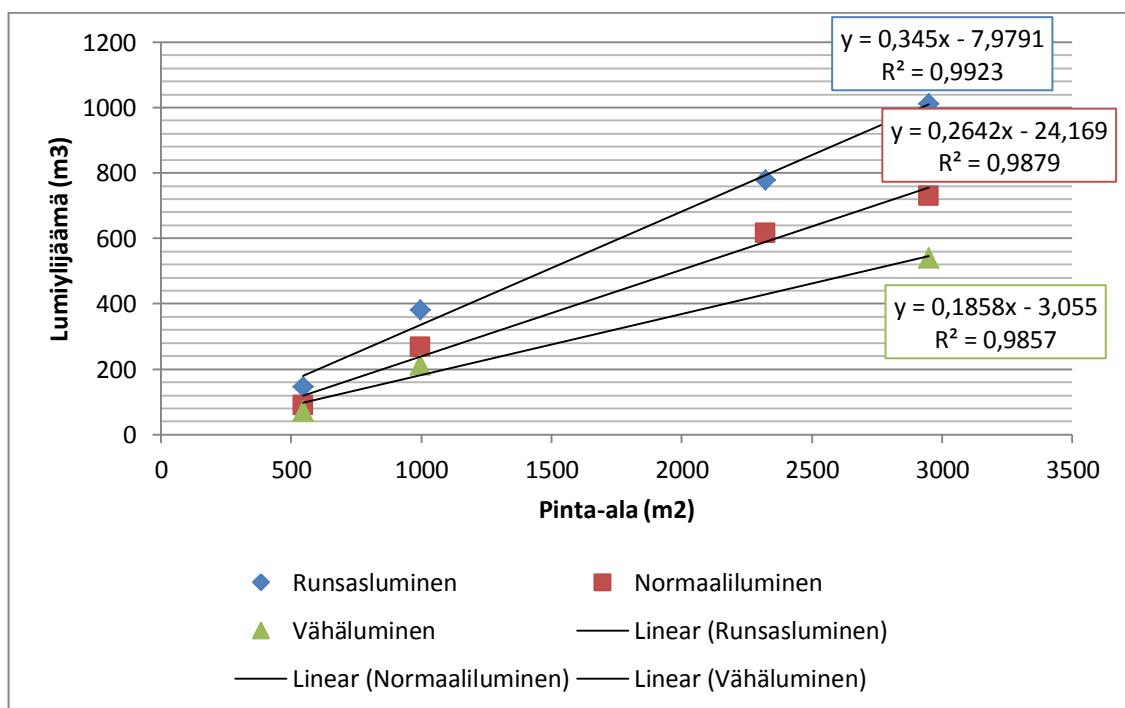
Taulukossa 26 on esitetty Helsingin ja Jyväskylän esimerkikaduille lasketut vertailuluvut eli lumimäärän ja aurattavan alan suhteet erityyppisille talville. Kuvissa 31 ja 32 on vertailuluvut esitetty lineaarisen regressioanalyysin avulla. Regressioanalyysin perusteella voidaan todeta Jyväskylän katujen lumiylijäämän ja aurattavan alueen pinta-alan olevan lineaarisesti riippuvaisia toisistaan. Helsingissä se toteutuu ainoastaan runsaslumisina talvina.

Taulukko 26. Vertailuluvut esimerkikaduille

	<i>Runsasluminen talvi</i>	<i>Normaaliluminen talvi</i>	<i>Vähäluminen talvi</i>
<b>Kyläkunnantie</b>	0,31	0,18	0,14
<b>Pakilantie</b>	0,33	0,21	0,17
<b>Simo Klemetinpojantie</b>	0,22	0,09	0,06
<b>Tilanhoidajankaari</b>	0,30	0,16	0,09
<b>Lukkotie</b>	0,38	0,27	0,21
<b>Teljintie</b>	0,34	0,25	0,20
<b>Tertunhaka</b>	0,27	0,16	0,13
<b>Välitie</b>	0,34	0,27	0,23



Kuva 31. Regressioanalyysi Helsingin kaduilla

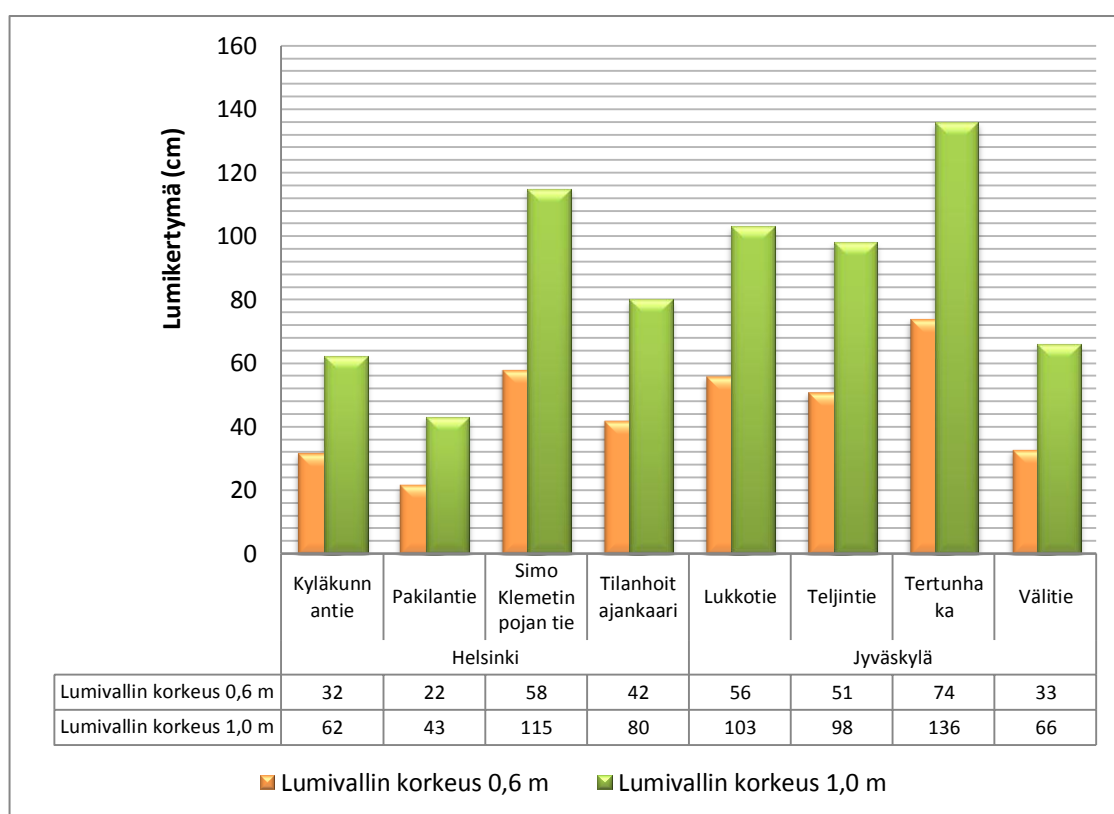


Kuva 32. Regressioanalyysi Jyväskylän kaduilla

Taulukossa 27 on esitetty, millä lumikertymällä kunkin kadun lumitilat täyttyvät. Laskelmat on tehty lumivallin maksimikorkeuksille 0,6 m ja 1,0m. Kuvassa 33 on esitetty luvut pylvinä.

Taulukko 27. Helsingin ja Jyväskylän esimerkkikatujen kapasiteetin täyttävä lumikertymä.

Kadunnimi	Lumivallin maksimikorkeus 0,6 m	Lumivallin maksimikorkeus 1,0 m
Kyläkunnantie	32 cm	62 cm
Pakilantie	22 cm	43 cm
Simo Klemetinpojan tie	58 cm	115 cm
Tilanhoitajankaari	42 cm	80 cm
Lukkotie	56 cm	103 cm
Teljintie	51 cm	98 cm
Tertunhaka	74 cm	136 cm
Välitie	33 cm	66 cm



Kuva 33. Lumitilat täyttävä lumikertymä Helsingin ja Jyväskylän kaduilla.

### 4.2.3 Virhetarkastelu

#### Herkkyysanalyysi

Herkkyysanalyysillä pyritään selvittämään, kuin herkkä laskentamallin tulos on eri lähtöoletusten muuttumiselle. Sen avulla voidaan osoittaa ne kriittiset tekijät, joilla on eniten vaikutusta lopputulokseen. Herkkyysanalyysi voidaan tehdä kolmella eri tavalla: osittaisena herkkyysanalyysinä (engl. *partial sensitivity analysis*), parhaimman ja huonoimman tapauksen analyysinä (engl. *worst- and best-case analysis*) tai Monte Carlo herkkyysanalyysinä. Monte Carlo -analyysissä muuttujien arvot poimitaan tilastollisesta jakaumasta ja laskelmia toistetaan useita kertoja, kunnes saadaan mallille jakauma, josta voidaan raportoida esimerkiksi keskiarvo ja varianssi. Osittainen herkkyysanalyysi on yleisimmin käytetty ja yksinkertaisin herkkyysanalyysin muoto. Siinä muutetaan yhtä muuttujaa kerrallaan pitämällä muut samoina. (Boardman et al. 2001 , Laine 2006 mukaan.)

Tässä tutkimuksessa herkkyysanalyysin metodina on käytetty osittaisherkkyysanalyysia eli on tutkittu sitä, miten lähtöarvojen oletuksien muutokset vaikuttavat lumitaselaskelmien tulokseen. Tavoitteena oli löytää, mikä muuttujista on kriittisin laskelmien kannalta. Lumitaselaskelmien tuloksiin vaikuttavat

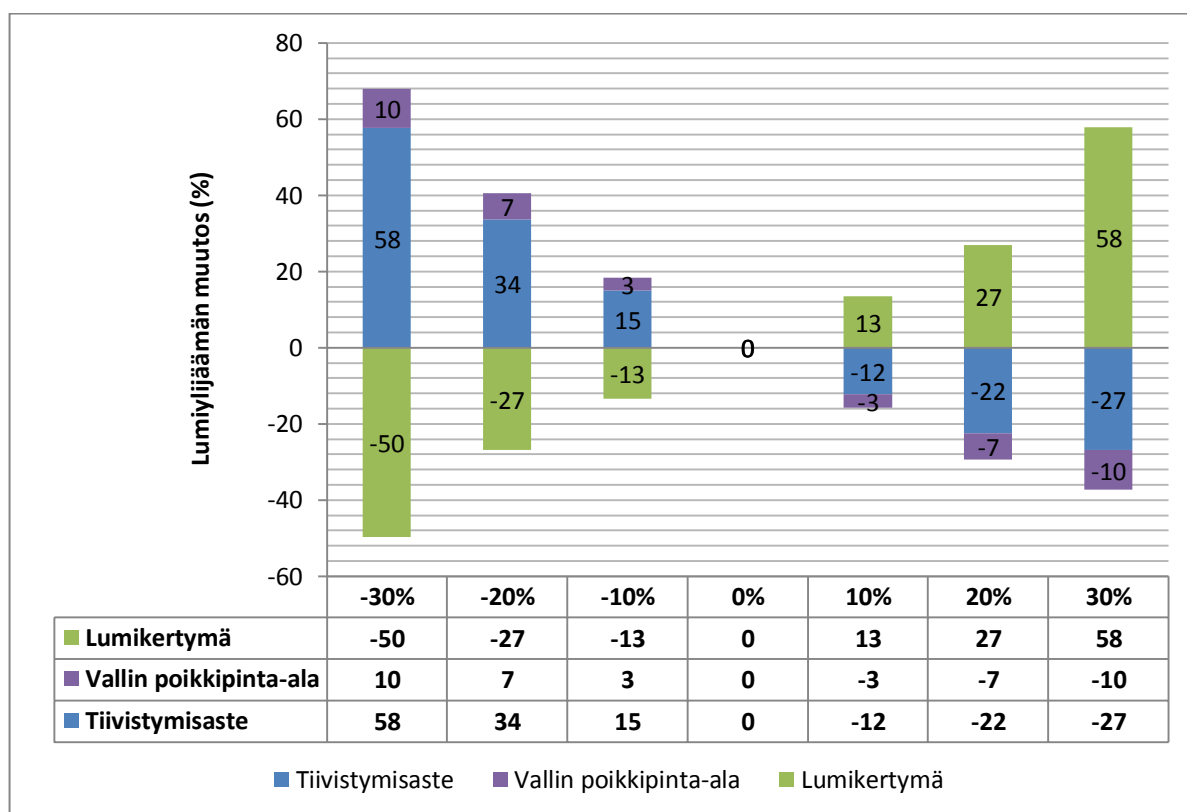
- lumivallin muoto eli lumivallin poikkipinta-ala
- lumen tiheyden arvot eli tiivistymisaste
- sataneen lumen määrä

Kaikkia kolmea muuttujaa eli lumivallin poikkipinta-alaa, vallissa olevan lumen tiheyttä ja lumikertymän määrää muutettiin kutakin +/- 10, 20 ja 30 prosenttia yksi kerrallaan pitäen muut muuttujat vakiona. Jokaiselle kadulle tehtiin yhteensä kuusi osittaisherkkyysanalyysia: kolmelle eri tyyppitalvelle ja kahdelle eri lumivallin maksimikorkeudelle.

Analyysin perusteella huomattiin, että tiivistymisasteen ja lumikertymän muutokset aiheuttavat suurimmat muutokset lumiylijäämän arvoon. Tiivistymisaste on oletuksista kriittisin silloin, kun muuttujan arvoa muutettiin -10 %, -20 % tai -30 %. Lumikertymän muutos on taas kriittisin silloin, kun muuttujan arvoa muutettiin +10 %, +20 % tai +30 %.

Vähälumisina talvina muuttujien muuttuminen vaikuttaa lumiylijäämän arvoon enemmän kuin normaalilumisena tai runsaslumisena talvena. Lisäksi vähälumisina talvina lumivallin muodolla eli poikittaispinta-alalla on enemmän merkitystä kuin runsaslumisina talvina. Huomattavissa oli myös se, että mitä suurempi teoreettinen lumitila on, sitä enemmän sen muoto vaikuttaa.

Pienemmillä kaduilla Simo Klemetinpojan tiellä ja Tertunhaassa lumiylijäämän muutokset olivat prosentuaalisesti huomattavasti suurempia kuin isoimmilla kaduilla. Suuret muutokset johtuvat siitä, että lumiylijäämät ovat pienempiä kuin suuremmilla kaduilla, joten pienetkin muutokset aiheuttavat suuret prosentuaaliset muutokset. Ylijäämän muutokset on esitetty liitteessä 7 kullekin esimerkkikadulle. Kuvassa 34 on esitettävien herkkyyksien tulokset Vältielle normaalilumisena talvena, kun lumivallin maksimikorkeus on 0,6 metriä.



Kuva 34. Yhden muuttujan vaikutus lumiylijäämään. Muuttujia on muutettu yhtä kerrallaan pitäen muut muuttujat vakioina. Jos esimerkiksi lumikertymä pienenee 20 %, vähenee lumiylijäämä silloin 27 % alkuarvoon verrattuna.

## Vertailu toteutuneisiin lumiylijäämiin

Esimerkkikaduilla laskettuja vertailulukuja voidaan verrata kaupunkien toteutuneisiin ylijäämän ja aurattavan alan suhteeseen. Ylijäämäksi oletetaan vastaanottopaikoille kuljetettu lumi. Kuljetettu lumimäärä ei tosin kerro täyttä totuutta lumiylijäämästä, sillä lunta on saatettu lähisiirtää tai annettu lumivallien kaventaa ajorataa tai kevyen liikenteen väylää tai lumivallien sallitusta korkeudesta on saatettu tinkiä. Laskennallisia arvoja (taulukko 28) verrattiin niihin talviin, joista on olemassa tilastotietoja kuljetetusta lumesta sekä Helsingistä että Jyväskylästä (taulukko 29).

Taulukko 28. Laskennallisten vertailulukujen eli lumiylijäämän ja auraspinta-alan suhteen keskiarvot Helsingin ja Jyväskylän esimerkkikaduille.

	<i>Runsasluminen</i>	<i>Normaaliluminen</i>	<i>Vähäluminen</i>
Helsinki	0,29	0,16	0,12
Jyväskylä	0,33	0,24	0,17

Taulukko 29. Esimerkkikatujen vertailulukujen eli lumiylijäämän ja auraspinta-alan suhteen vertailu toteutuneisiin arvoihin. Punaisella merkityt luvut ovat vähälumisia talvia, keltaisella normaalilumisia ja vihreälle runsaslumisia.

<i>Vuosi</i>	<i>03-04</i>	<i>04-05</i>	<i>05-06</i>	<i>06-07</i>	<i>07-08</i>	<i>08-09</i>	<i>09-10</i>	<i>10-11</i>
Helsinki	0,05	0,03	0,04	0,01	0,01	0,02	0,17	0,24
Jyväskylä	-	-	-	-	0,02	0,03	0,07	0,1

Lasketut lukuarvot eivät juuri vastaa toteutuneita arvoja. Parhaiten laskettuja arvoja vastaavat Helsingin vertailuluvut runsaslumisena talvena. Laskelmat ja toteutuneet vertailuluvut eivät ole aivan vertailukelpoisia, sillä lasketut arvot on tehty neljälle kadulle molemmissa kaupungeissa ja toteutuneet arvot vastaavat taas koko kaupungin alueen lumia. Tarvittaisiin suurempi otos, jotta voitaisiin sanoa pitävätkö laskelmat paikkansa.

### Vertailu todellisiin kuljetuksen kynnysarvoihin

Laskelmien paikkansa pitävyyttä voidaan testata vertaamalla laskennallisia arvoja tilastoituihin arvoihin. Vuosittaista lumenkuljetuksen aloittamisen ajankohtaa voidaan verrata lumikertymään. Liitteessä 8 esitettyjen kuvaajien avulla on tutkittu Helsingin Oulunkylän lumenvastaanottopaikalle tuotuja kuormia verrattuina lumikertymään eli lumen-syvyyden positiivisiin muutoksiin. Lumikertymässä ei ole siis otettu huomioon lumen-syvyyden mahdollista negatiivista muutosta eli lumen sulamista tai tiivistymistä. Kuvaajat eivät kuvaa koko talvea vaan ainoastaan ensimmäisiä lumen kuljetuskertoja.

Kuvaajista ei voi suoraan sanoa, mikä on ollut tärkein syy aloittaa lumen kuljetus tai mikä on ollut kriittinen lumikertymän arvo, jolla kuljetus on aloitettu. Kuvaajista huomataan kuitenkin se, että yksittäiset lumikertymän kasvut ovat aiheuttaneet kuljetusmäärien selvää lisääntymistä tai jopa kuljetuksen aloituksen.

Pakilan alueelta kuljetetaan lumet suurimmaksi osaksi juuri Oulunkylään. Laskelmien perusteella Kyläkunnantieltä ja Pakilantieltä joudutaan lumenkuljetus aloittamaan (vallin sallitun korkeuden mukaan) noin 20 – 50 cm lumikertymällä. Laskennalliset arvot sopivat runsaslumisiin talviin, mutta muina talvina lumikertymä on ollut suurempi. Toisaalta tulee huomata, että Oulunkylään tuodaan lunta myös muilta alueilta kuin Pakilasta. Pakila itsessäänkin on suuri alue ja nämä kaksi valittua katua vain pieni osa sitä.

Esimerkiksi talvena 2003–2004 lumenkuljetus aloitettiin vasta lumikertymän ollessa noin 70 cm, kun taas talvena 2009–2010 kuljetus aloitettiin jo lumikertymän ylitettyä 30 cm. Voidaan olettaa, että lyhyellä ajalla satanut noin 20 cm lumipeite aiheuttaa nopeammin kuljetustarpeen kuin kokonaislumikertymä. Tällöin lumi ei ehdi tiivistyä ja lumenkuljetus joudutaan aloittamaan alhaisemmilla lumikertymillä kuin normaalisti.

Tarkempaan analyysiin tarvittaisiin kuitenkin tarkat tiedot, miltä alueilta lunta on kuljetettu ja mikä on ollut ilman lämpötila. Pakkassäällä lumen tiivistyminen on hitaampaa kuin suojasäällä.

Helsingin kaupunki on varautumissuunnitelmassaan ottanut toimintarajaksi 35 cm lumen syvyyden ja kahden viikon 35 cm lumikertymän. Siihen verrattuna lumitilojen täytymislaskelmat osuvat melko hyvin kohdalleen.

### **Muut tekijät**

Luvussa 3.2. on kerrottu, miten monella eri tavalla lumen määrää voi arvioida. Tässä tutkimuksessa valittiin yksi tapa, jonka mukaan lumen määrää arvioitiin. Jos lumimäärää olisi arvioitu sadesummasta, olisivat kertymät olleet suurempia ja siten myös ylijäämät ja kuljetuksen tarve. Vaikka talvista löydettiin yhteisiä ominaisuuksia ja ne ryhmiteltiin erilaisiksi tyyppitalviksi, on jokainen talvi kuitenkin täysin erilainen kuin toinen ja seuraavan talven lumikertymän ennustaminen on hyvin haasteellista.

### 4.3 Katujen lumilogistiikkakustannukset ja niistä johtuvat hiilidioksidipäästöt

Lumen lähisiirron kannattavuutta kustannuksien sekä hiilidioksidipäästöjen osalta on arvioitu vertaamalla lumen lähisiirtokustannuksia lumen kuljetuskustannuksiin. Lumen-vastaanottopaikkojen ylläpitokustannuksia eikä lähisiirtoalueiden kunnostuksesta ja esivalmisteluista aiheutuvia kustannuksia ei ole otettu huomioon, sillä ne on oletettu olevan lähes samansuuruisia. Kuljetettavan ja siirrettävän lumen määränä käytetään luvussa 4.2.3. tehtyjä laskelmia. Lumiylilijäämät ja niitä vastaavat kuormat on esitetty taulukossa 30. On oletettu, että lavakoko on 15 m<sup>3</sup>.

Taulukko 30. Lumiylilijäämät kuutioina ja kuormina

	Poisvietävää lunta m <sup>3</sup> (keskiarvot)			Poisvietäviä kuormia (15 m <sup>3</sup> )		
	Runsasluminen	Normaaliluminen	Vähäluminen	Runsasluminen	Normaaliluminen	Vähäluminen
Kyläkunnantie	1260	740	580	84	49	39
Pakilantie	2500	1610	1320	167	107	88
Simo Klemetinpojan tie	802	322	233	53	21	16
Tilanhoidajankaari	2490	1300	740	166	87	49
Lukkotie	380	270	210	25	18	14
Teljintie	1010	730	600	67	49	40
Tertunhaka	150	90	70	10	6	5
Välitie	780	620	540	52	41	36

*Laskelmissa käytetään seuraavia kuorma-autokuljetuksia koskevia oletuksia:*

- Kuorma-auton lavakoko on 15 m<sup>3</sup>.
- Päivässä voidaan kuljettaa 12 kuormaa.
- Kuljetuksen hinta, joka kuormauksen, kuljetuksen ja vastaanottomaksun, on 105 € / kuorma
- Kuorma-auton kulutus on 40 l/100km

*Laskelmissa käytetään seuraavia pyöräkuormainta koskevia oletuksia:*

- Pyöräkuormaimen kauhakoko on 2,5m<sup>3</sup>.
- Tunnissa voidaan siirtää 20 kauhallista.
- Siirron hinta pyöräkuormaimella on 2,5€/m<sup>3</sup>.
- Pyöräkuormaimen kulutus on 8 l/h.

Hinta- ja suoritusoletukset perustuvat ylläpitäjien haastatteluihin. Siirron hinta perustuu siihen, että lähisiirtomatka on 200 metriä, jolloin keskimääräinen lähisiirtomatka on 100



metriä ja pyöräkuormain pystyy siirtämään tunnissa 20 kauhallista. Kuorma-auton kulutus on arvio kuorma-auton kulutuksesta kaupunkiajossa.

Kuljetuksen hinta koostuu seuraavasti:

$$KK = \text{Kuljetuskustannus} = \text{lumimäärä} / \text{kuormakoko} * \text{kuormahinta} \quad (18)$$

Lähisiirron hinta koostuu puolestaan seuraavasti:

$$LK = \text{Lähisiirtokustannus} = \text{lumimäärä} * \text{kuutiohintaa} \quad (19)$$

On tehty neljä vaihtoehtovertailua:

**VE0:** Kaikki ylijäämälumi kuljetetaan lumenvastaanotto paikalle

**VE1:** 30 % lumesta lähisiirretään, 70 % kuljetetaan lumenvastaanotto paikalle

**VE2:** 50 % lumesta lähisiirretään, 50 % kuljetetaan lumenvastaanotto paikalle

**VE3:** 70 % lumesta lähisiirretään, 30 % kuljetetaan lumenvastaanotto paikalle

**VE4:** 100 % lumesta lähisiirretään

### 4.3.1 Kuljetus ja lähisiirtokustannukset

Ylläpitokustannuksia voidaan verrata, joko kokonaiskustannuksina tai katumetreittäin. Tarkemmat kustannukset kaduittain on esitetty liitteessä 9. Seuraavissa taulukoissa on kustannukset esitetty keskiarvoina. Taulukossa 31 on esitetty katujen kokonaiskustannuksien keskiarvo ja taulukossa 32 keskiarvot kustannuksista per katumetri.

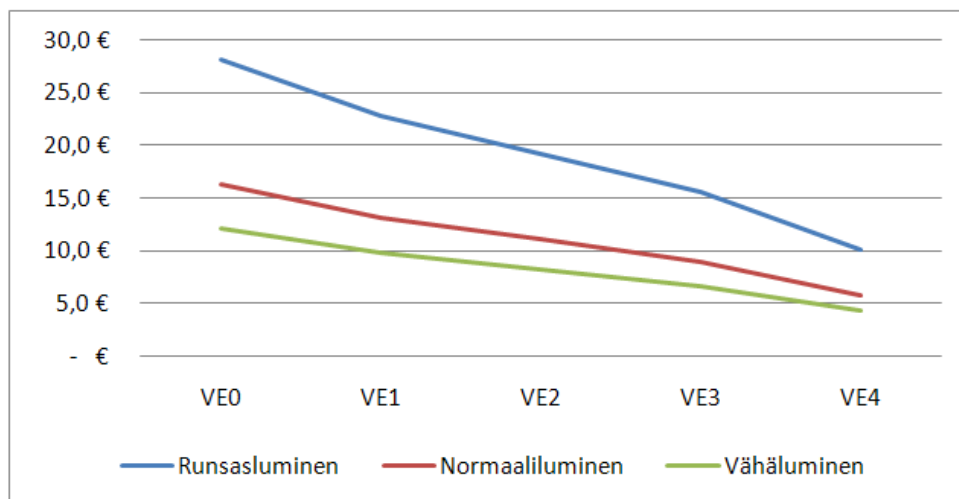
*Taulukko 31. Yhteenveto vaihtoehtojen keskiarvosummista per katu*

	Runsasluminen	Normaaliluminen	Vähäluminen
<b>VE0</b>	8 201 €	4 972 €	3 756 €
<b>VE1</b>	6 619 €	4 013 €	3 032 €
<b>VE2</b>	5 565 €	3 374 €	2 549 €
<b>VE3</b>	4 510 €	2 734 €	2 066 €
<b>VE4</b>	2 929 €	1 776 €	1 342 €

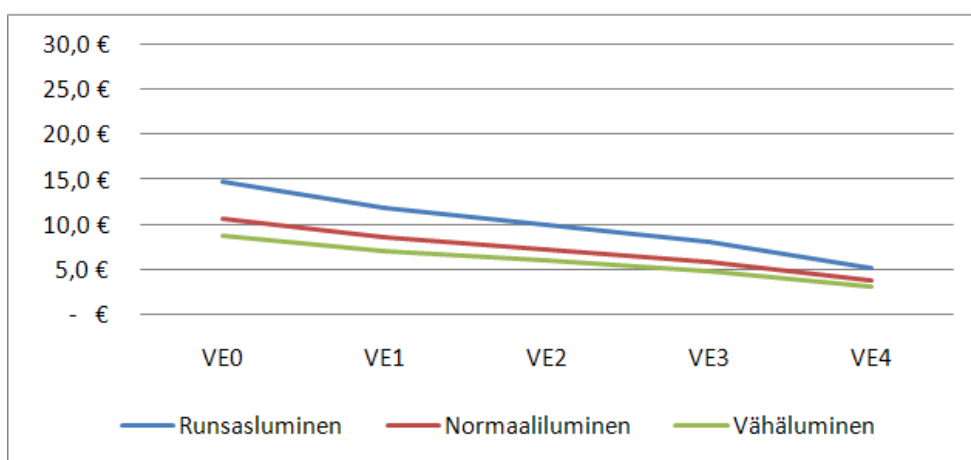
*Taulukko 32. Yhteenveto vaihtoehtojen keskiarvosummista per katumetri*

	Runsasluminen	Normaaliluminen	Vähäluminen
<b>VE0</b>	21,4 €	13,5 €	10,4 €
<b>VE1</b>	17,3 €	10,9 €	8,4 €
<b>VE2</b>	14,5 €	9,1€	7,1 €
<b>VE3</b>	11,8 €	7,4 €	5,7 €
<b>VE4</b>	7,6 €	4,8 €	3,7 €

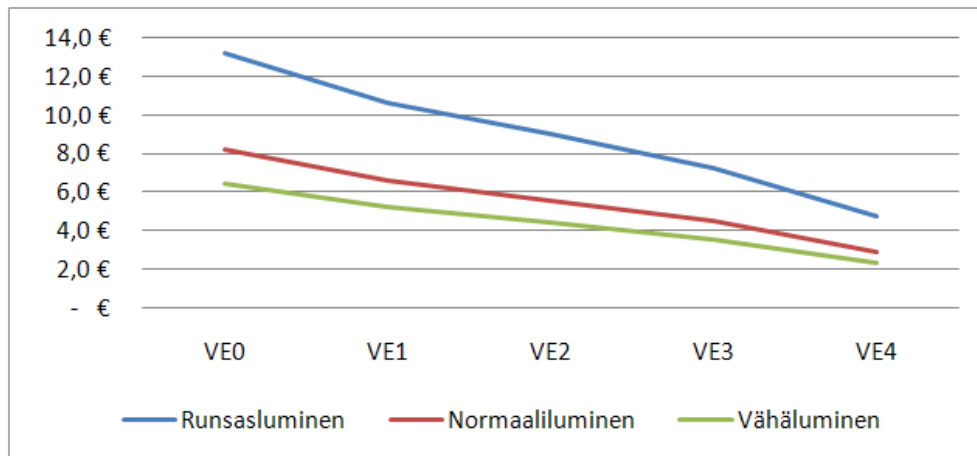
Koska esimerkkikadut ovat eripituisia, on syytä keskittyä tarkastelemaan kustannuksia katumetreittäin. Kuvissa 35–38 on vertailtu katuja sekä kaupungeittain että katutyypeittäin. Kaikki hinnat ovat per katumetri.



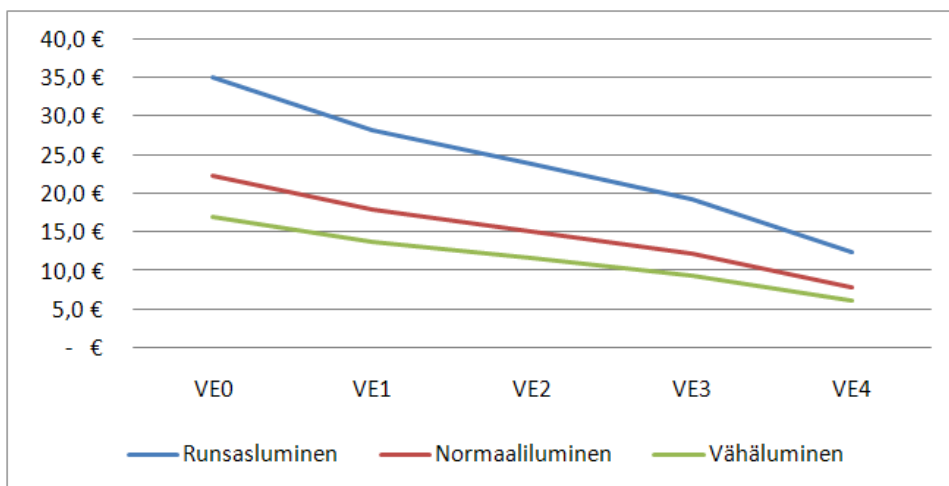
Kuva 35. Keskiarvokustannukset katumetriä kohden Helsingin kaduilla



Kuva 36. Keskiarvokustannukset katumetriä kohden Jyväskylän kaduilla



Kuva 37. Keskiarvokustannukset katumetriä kohden asuntokaduilla



Kuva 38. Keskiarvokustannukset katumetriä kohden kokoojakaduilla

Pelkkä lumenkuljetus on selvästi kalliimpaa kuin muut vaihtoehdot. Lumen lähisiirrolla saavutetaan merkittäviä kustannussäästöjä. Verrattuna pelkkään lumenkuljetukseen eli vaihtoehtoon VE0, saadaan 30 % lähisiirrolla 19 % säästöt (VE1). Mitä enemmän lunta lähisiirretään, sitä suuremmat ovat säästöt. Vaihtoehto VE2 säästää 32 %, vaihtoehto VE3 45 %, ja vaihtoehto VE4 64 % kustannuksista.

### 4.3.2 Hiilidioksidipäästöt

Laskelmissa on käytetty oletuksena, että yksi litra dieseliä tuottaa 2,66 kg hiilidioksidipäästöjä (2011 Motiva). Kuorma-auton edestakaisen kuljetusmatkan oletetaan olevan 10 kilometriä, joten yhdellä kuljetusmatkalla kuluu 4 l dieseliä, olettaen kuorma-auton kulutuksen olevan 40 l/100km. Yhden kuormallisen (15 m<sup>3</sup>) kuljettaminen aiheuttaa siis 10,64 kg hiilidioksidipäästöjä.

Pyöräkuormaimen kulutus tunnin aikana on 8 litraa, mikä aiheuttaa 21,28 kg hiilidioksidipäästöjä. Tunnin aikana kuormain siirtää 20 kauhallista lunta eli yhteensä 50 m<sup>3</sup>. Näin ollen yhden kuution aiheuttamat CO<sub>2</sub> -päästöt ovat 0,43 kg.

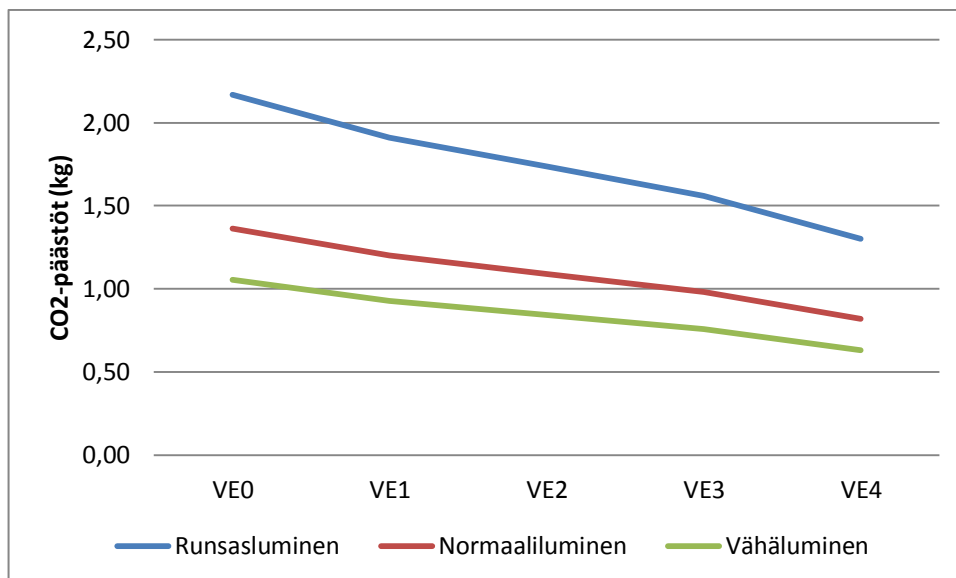
Hiilidioksidipäästöt lumenkuljetukselle kuorma-autolla lasketaan kaavalla (20):

$$= \text{lumimäärä} / \text{kuormakoko} * \text{kulutus}/10\text{km} * \text{CO}_2\text{:n synty per litra} \quad (20)$$

Hiilidioksidipäästöt lumensierrolle pyöräkuormaimella lasketaan kaavalla (21):

$$= \text{lumimäärä} * \text{CO}_2\text{:n synty per litra} * \text{kulutus per h} / \text{kuutiota per h} \quad (21)$$

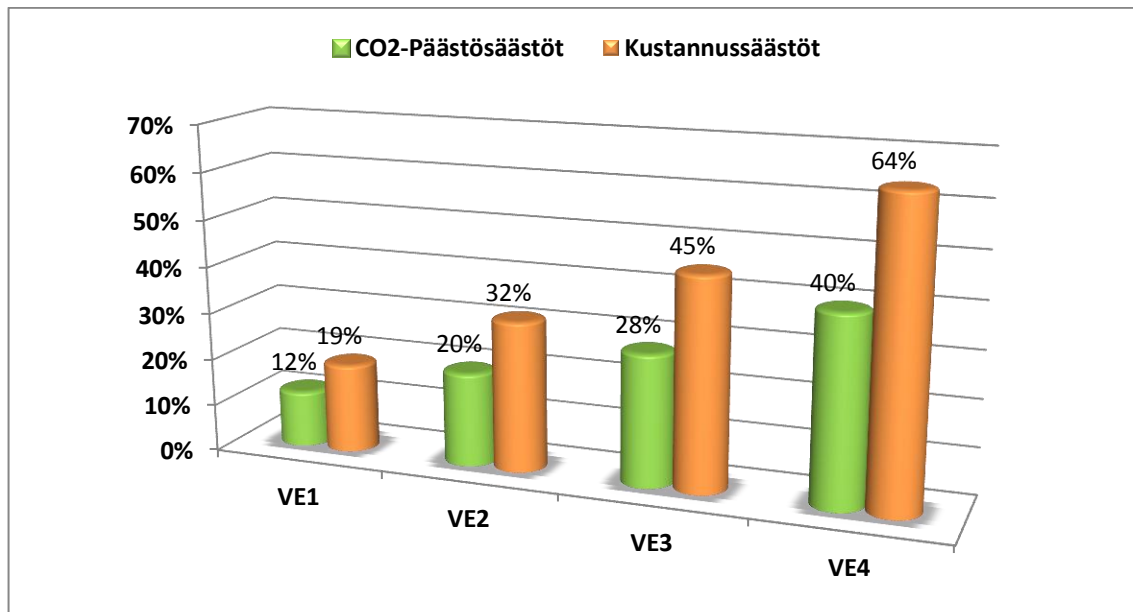
Tarkemmat tulokset katumetriä kohde on esitetty liitteessä 9. Kuvassa 39 on esitetty CO<sub>2</sub>- keskiarvopäästöt katumetriä kohden eri vaihtoehdoille.



Kuva 39. Keskimääräiset CO<sub>2</sub>-päästöt katumetriä kohden

Hiilidioksidipäästöt vähenevät lähes samassa suhteessa kuin kustannuksetkin (kuva 46). Vaihtoehto VE1 vähentää päästöjä 12 %, vaihtoehto VE2 20 %, vaihtoehto VE3 28 %, vaihtoehto VE4 36 %.

ja vaihtoehto VE4 40 % verrattuna vaihtoehtoon VE0. Kuvassa 40 on esitetty kustannus- ja CO<sub>2</sub>- päästösäästöt.



Kuva 40. CO<sub>2</sub>-päästöjen ja kustannussäästömahdollisuuksien vertailu

### 4.3.3 Virhetarkastelu

Kustannus- ja hiilidioksidipäästölaskentamenetelmien arviointiin käytettiin osittaisherkkyysanalyysia kuten lumitaselaskelmillekin. Osittaisherkkyysanalyysissa muutetaan yhtä muuttujaa ja pidetään muut muuttujat vakioina.

#### Herkkyysanalyysi kuljetus- ja lähisiirtokustannuksille

Kustannukset koostuvat kuljetuskustannuksista ja lähisiirtokustannuksista.

Kuljetuslaskelmissa muuttujina ovat

- kuorma-auton lavakoko
- lumimäärä
- yhden kuorman hinta

Lähisiirtolaskelmissa muuttujina ovat

- lumimäärä
- yhden kuorman hinta (per kuutio)

Lumimäärä sekä kuutio- ja kuormahinnat ovat suoraan verrannollisia kokonaiskustannuksiin. Siksi niitä muuttamalla kustannukset muuttuvat samassa suhteessa. Kuormakoko taas on kääntäen verrannollinen kuljetuskustannuksiin eli kuormakokoa pienennettäessä kustannukset nousevat. Jokaista neljää muuttujaa on muutettu -20 %, -10 %, -5 %, +5 %, +10 % ja +20 %. Taulukossa 33 on esitetty muuttujien vaikutukset kokonaiskustannuksiin.

*Taulukko 33. Muuttujien vaikutuskokonaiskustannuksiin*

<b>Lumimäärä</b>							
	<b>-20 %</b>	<b>-10 %</b>	<b>-5 %</b>	<b>0 %</b>	<b>5 %</b>	<b>10 %</b>	<b>20 %</b>
VE0	-20 %	-10 %	-5 %	0 %	5 %	10 %	20 %
VE1	-20 %	-10 %	-5 %	0 %	5 %	10 %	20 %
VE2	-20 %	-10 %	-5 %	0 %	5 %	10 %	20 %
VE3	-20 %	-10 %	-5 %	0 %	5 %	10 %	20 %
VE4	-20 %	-10 %	-5 %	0 %	5 %	10 %	20 %

<b>Kuormakoko (kuorma-auto)</b>							
	<b>-20 %</b>	<b>-10 %</b>	<b>-5 %</b>	<b>0 %</b>	<b>5 %</b>	<b>10 %</b>	<b>20 %</b>
VE0	25 %	11 %	5 %	0 %	-5 %	-9 %	-17 %
VE1	22 %	10 %	5 %	0 %	-4 %	-8 %	-14 %
VE2	18 %	8 %	4 %	0 %	-4 %	-7 %	-12 %
VE3	14 %	6 %	3 %	0 %	-3 %	-5 %	-9 %
VE4							

<b>Kuormahinta (kuorma-auto)</b>							
	<b>-20 %</b>	<b>-10 %</b>	<b>-5 %</b>	<b>0 %</b>	<b>5 %</b>	<b>10 %</b>	<b>20 %</b>
VE0	-20 %	-10 %	-5 %	0 %	5 %	10 %	20 %
VE1	-17 %	-9 %	-4 %	0 %	4 %	9 %	17 %
VE2	-15 %	-7 %	-4 %	0 %	4 %	7 %	15 %
VE3	-11 %	-5 %	-3 %	0 %	3 %	5 %	11 %

<b>Kuutiohint (pyöräkuormain)</b>							
	<b>-20 %</b>	<b>-10 %</b>	<b>-5 %</b>	<b>0 %</b>	<b>5 %</b>	<b>10 %</b>	<b>20 %</b>
VE1	-3 %	-1 %	-1 %	0 %	1 %	1 %	3 %
VE2	-5 %	-3 %	-1 %	0 %	1 %	3 %	5 %
VE3	-9 %	-5 %	-2 %	0 %	2 %	5 %	9 %
VE4	-20 %	-10 %	-5 %	0 %	5 %	10 %	20 %

Käytettäessä vaihtoehtoa VE0 on kuorma-auton lavakoko merkittävin muuttuja kokonaiskustannusten osalta. Samoin on vaihtoehdon VE1 kohdalla, silloin kun kuormakoko on oletettua pienempi. Suuremmilla kuormakooilla ja vaihtoehdoilla VE2, VE3 ja VE4

vaikuttaa lumen määrä eniten kokonaiskustannuksiin. Vaihtoehdolla VE4 myös pyöräkuormaimen kuutiohinnalla on yhtä suuri vaikutus kuin lumen määrällä.

Vertailusta nähdään, että kuorma-auton kuormahinnan muutoksella on enemmän merkitystä kuin pyöräkuormaimen kuutiohinnan muutoksella. Vaihtoehdoissa VE0 ja VE4, joissa lumen siirto tapahtuu joko pelkästään kuorma-autolla tai pyöräkuormaimella on muuttujien vaikutus yhtä suuri.

## Herkkyysanalyysi hiilidioksidipäästölaskelmille

Hiilidioksidipäästölaskelmissa muuttujina ovat:

- Lumimäärä
- CO<sub>2</sub> – kg poltettua diesellitra kohden
- Kuorma-auton kulutus
- Pyöräkuormaimen kulutus
- Kuormakoko (kuorma-auto)
- Työsuorite (pyöräkuormain)

Lumimäärä ja hiilidioksidin muodostuminen litraa kohden ovat suoraan verrannollisia hiilidioksidipäästöihin ja niiden lisääntyminen tai vähentyminen vaikuttaa samassa suhteessa päästöjen syntyyn. Kuorma-auton kulutuksen merkittävyys vähenee sen mukaan, mitä vähemmän lunta kuljetetaan. Samoin pyöräkuormaimen työsuoritteen vaikuttavuus kasvaa, mitä enemmän lunta lähisiirretään kuljettamisen sijaan. Taulukossa 34 on esitetty muuttujien vaikutukset CO<sub>2</sub>- päästöjen syntyyn.

*Taulukko 34. Muuttujien vaikutukset CO<sub>2</sub>-päästöjen syntyyn.*

Lumimäärä tai CO <sub>2</sub> -kg per litra							
	-20 %	-10 %	-5 %	0 %	5 %	10 %	20 %
VE0	20 %	10 %	5 %	0 %	-5 %	-10 %	-20 %
VE1	20 %	10 %	5 %	0 %	-5 %	-10 %	-20 %
VE2	20 %	10 %	5 %	0 %	-5 %	-10 %	-20 %
VE3	20 %	10 %	5 %	0 %	-5 %	-10 %	-20 %
VE4	20 %	10 %	5 %	0 %	-5 %	-10 %	-20 %

Kulutus (kuorma-auto)							
	-20 %	-10 %	-5 %	0 %	5 %	10 %	20 %
VE0	20 %	10 %	5 %	0 %	-5 %	-10 %	-20 %
VE1	16 %	8 %	4 %	0 %	-4 %	-8 %	-16 %
VE2	13 %	6 %	3 %	0 %	-3 %	-6 %	-13 %
VE3	8 %	4 %	2 %	0 %	-2 %	-4 %	-8 %

Kulutus (pyöräkuormain)							
	-20 %	-10 %	-5 %	0 %	5 %	10 %	20 %
VE1	4 %	2 %	1 %	0 %	-1 %	-2 %	-4 %
VE2	7 %	4 %	2 %	0 %	-2 %	-4 %	-8 %
VE3	12 %	6 %	3 %	0 %	-3 %	-6 %	-12 %
VE4	20 %	10 %	5 %	0 %	-5 %	-10 %	-20 %

Kuormakoko (kuorma-auto)							
	-20 %	-10 %	-5 %	0 %	5 %	10 %	20 %
VE0	-25 %	-11 %	-5 %	0 %	5 %	9 %	17 %
VE1	-20 %	-9 %	-4 %	0 %	4 %	7 %	13 %
VE2	-16 %	-7 %	-3 %	0 %	3 %	6 %	10 %
VE3	-10 %	-5 %	-2 %	0 %	2 %	4 %	7 %

Työsuorite (pyöräkuormain)							
	-20 %	-10 %	-5 %	0 %	5 %	10 %	20 %
VE1	-5 %	-2 %	-1 %	0 %	1 %	2 %	3 %
VE2	-9 %	-4 %	-2 %	0 %	2 %	3 %	6 %
VE3	-15 %	-6 %	-3 %	0 %	3 %	5 %	10 %
VE4	-25 %	-11 %	-5 %	0 %	5 %	9 %	17 %

Kun tarkastellaan vaihtoehtoa VE0, on kuorma-auton kuormakoko merkittävin muuttuja. Vaihtoehdossa VE4 merkittävin on pyöräkuormaimen työsuorite. Muissa vaihtoehdossa eniten kustannuksiin vaikuttavat lumimäärä ja hiilidioksidin muodostuminen litralta.



## 4.4 Lähisiirtoalueiden suunnittelu

Lähisiirtoalueiden suunnittelu perustuu kaupungeissa tehtyihin haastatteluihin sekä maastohavaintoihin. Kaikki haastatellut korostivat, että lähisiirtoalueet helpottaisivat talvihoitoa ja alueiden suunnitteluun tarvitaan ohjeistusta.

### 4.4.1 Lähisiirtoalueiden sijoitus

Lähisiirtoalueet tulisi sijoittaa siten, että siirtomatka olisi mahdollisimman lyhyt. Palokkaan mukaan (suullinen tiedonanto, 19.6.2012) maksimimatka, jonka esimerkiksi pyöräkuormaimella kannattaa siirtää lunta, on 200 metriä. Silloin keskimääräinen siirtomatka olisi noin 100 metriä. Yli 200 m matkoilla on tehokkaampaa siirtää lumi kuorma-auton lavalle.

Rakennetuilla alueilla on usein vaikea löytää paikkaa lumen sijoitukseen, sillä vapaata tilaa ei juuri ole. Rakentamattomat alueet, kuten käyttämättömät tontit, metsänreunat, vapaat puistot soveltuvat lumen läjittämiseen (kuva 41). Maaston muodot tulee ottaa huomioon ja käyttää niitä hyödyksi. Esimerkiksi luiskiin on helppo läjittää lunta. Uusilla alueilla lähisiirtopaikan sijainti tulee suunnitella kokonaisuuteen sopivaksi ja merkitä siihen varatut paikat myös kaavaan.



Kuva 41. Rakentamattomat alueet kuten metsänreunat soveltuvat lumen läjittämiseen.

Lähisiirtoalueet tulee sijoittaa siten, ettei sulamisvesistä ole haittaa alueen asukkaille tai muulle katualueen käytölle. Siksi kannattaa valita sellainen paikka, johon hulevedet normaalistikin valuisivat. Lähisiirtopaikkoja voidaan hyödyntää kesällä hulevesien johtamisessa ja imeyttämisessä. Jos sulamisvettä ei voi helposti johtaa maastoon tai kadun hulevesikaivoihin, olisi hyvä rakentaa oma kaivo. Maapohjan kantavuuden tulee olla riittävä, jotta se kestää pyöräkuormaimen liikkumisen. Maaston kallistukset eivät myöskään saa olla liian jyrkkiä, jotta kone pystyy liikkumaan alueelle ja alueelta pois helposti. Asuntoja lähellä olevien kasojen tulisi olla pieniä.

Turvallisuus paranee katualueilla mahdollisesti lähisiirtoalueiden käytön myötä, sillä raskasta ajoneuvoliikennettä ei olisi lumen kuljetuksen vähentyessä enää yhtä paljon kuin aikaisemmin. Uusi turvallisuusriski saattavat kuitenkin olla lapset, jotka leikkivät lumikasoissa. Lumikasat eivät sovellu leikkipaikoiksi, sillä lumikasassa on sortumisvaara ja pyöräkuormaimen kuljettajan voi olla vaikea nähdä leikkivää lasta. Lisäksi lumen mukana on voinut kulkeutua roskia kasaan. Aukkaita tulee tiedottaa lähisiirtopaikkojen sijainnista ja varoittaa etukäteen vaaroista. Vastuunjaon tulee olla selvä, jos onnettomuus tapahtuu.

Lähisiirtoalueet tulee suunnitella alueellisina kokonaisuuksina. Muutaman kuorman sijoittaminen ei muuta kokonaistilannetta tai vähennä kustannuksia merkittävästi. Kun kokonaisuus on suunniteltu huolella, on mahdollisuus vähentää lumen kuljetusta huomattavasti. Lähisiirtopaikan koosta on vaikea antaa yksiselitteistä ohjeistusta, sillä se riippuu täysin alueesta. Johonkin on mahdollista rakentaa suuri lähisiirtoalue, jossa taas on parempi tehdä useampia pienempiä kasoja. Pienien kasojen etuna on, että lumi sulaa nopeammin keväällä.

### **Etukäteisvalmistelu ja jälkihoito**

Lähisiirtopaikat tulee miettiä hyvissä ajoin ennen lumen tuloa. Jos alueella on puustoa tai muuta suurempaa kasvillisuutta, tulisi se vähintäänkin raivata, jottei lumi katko oksia tai puusto haittaa kaluston liikkumista. Pieni metsäalue ei välttämättä tarvitse muita toimenpiteitä kuin risukon poiston ja pienten puiden karsimisen. Jos alue on suuri, olisi lähisiirtopaikka hyvä rakentaa kunnolla. Silloin alueelta tulisi poistaa kokonaan puusto, kannot ja pintamaa. Jos pohjamaa on hyvä, riittää 20–30 cm pintamaanpoisto, suodatin-kankaan asennus ja murskelisäys (suullinen tiedonanto, Palokas 19.6.2012). Ennen rakentamista olisi hyvä tehdä pohjatutkimukset geoteknisten olojen varmistamiseksi. Jokaisen alueen kohdalla tulee ratkaista, mihin sulamisvedet johdetaan. Urakoitsijoille tulee osoittaa selvästi paikat, mihin lunta saa läjittää ja myös miten aluetta tulee hoitaa talven aikana.

Haastateltavien mukaan suurin lähisiirtoalueista aiheutuva haitta on roskaantuminen ja lumikasojen esteettinen haitta. Näitä haittoja voidaan kuitenkin vähentää keräämällä roskia lumen sulaessa ja kaapimalla hiekoitushiekkaa pois. Hiekoitushiekan poisto lumikasan päältä edesauttaa myös lumen sulamisprosessia. Lumen sulattua kokonaan, on hyvä poistaa pohjalta hiekka ja kerätä se talteen. Esimerkiksi Jyväskylässä hiekoitushiekkaa käytetään maankaatopaikkojen teiden pengerrakenteisiin. Käyttötarkoitus tulee kuitenkin selvittää ympäristöviranomaisen kanssa.

#### 4.4.2 Maastohavaintojen tulokset

Maastohavaintoja tehtiin Helsingissä ja Jyväskylässä lumen sulaessa huhti- ja touku-kuussa 2012. Maastohavainnoissa seurattiin lumen sulamista sekä lumikasojen roskaantumista. Jyväskylän tutkimuskohteet sijaitsivat Ristikiven ja Keljon asuinalueilla. Helsingin tutkimuskohteet sijaitsivat Munkkiniemessä. Tarkemmat tutkimuspaikat ja tutkimusajat on kerrottu kohdassa 3.3.

Maastotutkimuksissa havaittiin, että lumikasat sulavat hitaammin kuin muualla ympäristössä oleva lumi. Molemmilla Helsingin havaintokerroilla lunta oli jäljellä vain lumikasoissa. Jyväskylän ensimmäisellä havaintokerralla lunta oli myös muualla ympäristössä, mutta toisella kerralla lunta ei enää ollut juuri muualla kuin kasoissa. Viimeisellä Jyväskylän maastohavainnolla lumikasat olivat suurimmaksi osaksi jo sulaneet. Ainoastaan varjoisammilla metsäalueilla kuten Keltavuokossa lunta oli hieman jäljellä.

Lumen sulattua lumikasan paikalle jäi yleensä pieni hiekka- ja lehtikasa, josta voitiin päätellä lumikasan sijainti. Nurmialueella sijainneesta kasasta jäi nurmikkoon muuta nurmea vaaleampi kohta, sillä nurmi ei ole pystynyt kasvamaan lumikasan alla muun ympäristön tahdissa. Sulamisvesiongelmia oli havaittavissa vain Lapinmäentien varressa olevalla hiekkakentän reunalla. Siellä vesi ei päässyt valumaan pois vaan lammikoi-tui kentälle. Sulamisen edetessä lumikasoissa tuli selvästi hiekoitushiekkaa esiin, mutta muista roskista vain yksittäisiä tupakantumppeja ja ilotulitusraketteja (kuva 42).



Kuva 42. Esimerkki lumikasan roskaisuudesta

Helsingin Munkkiniemen uimarannassa roskia oli selvästi muita alueita enemmän. Munkkiniemen rantaa käytettiin lumen varavastaanottopaikkana, joten lunta oli selvästi

läjitetty sinne hieman enemmän kuin muihin tutkimuskohteisiin (kuva 43). Muihin kohteisiin oli lunta siirretty ainoastaan lähialueelta. Munkkiniemen rantaan oli lunta tuotu myös kauempaa. Munkkiniemenrannan lumikasa suli myös selvästi hitaammin kuin muut Munkkiniemen kasat. Maastohavaintojen valokuvat on esitetty liitteessä 10.



*Kuva 43. Munkkiniemenrannan lumikasa 27.4.2012*

#### **4.4.3 Lumen lähisiirtoon soveltuva kalusto**

Pyöräkuormain on haastateltavien mielestä parhaiten lähisiirtoon soveltuva laite. Se on ketterä liikkumaan ja siihen on mahdollista kiinnittää jopa 3,5 m<sup>3</sup> kauha. Yleisimmin käytössä on kuitenkin 2,5 m<sup>3</sup> lumikauha. Lisäksi traktorit, osa auras kalustosta sekä lumilinko soveltuvat lumen lähisiirtoon. Lumilinko soveltuu lähisiirtoon varsinkin silloin, kun tilaa on paljon ja lumen voi lingota suoraan maastoon. Maastoon lingottaessa lumi levittyy tasaisemmin eikä synny yksittäisiä kasoja. Lumi myös tiivistyy samalla. Tällä hetkellä kaupungeissa linkoa käytetään eniten kuorma-auton lavalle linkoamiseen. Esimerkiksi Jyväskylässä 90 % lingon käytöstä keskittyy lavalle linkoamiseen. Linko on tehokkuuden lisäksi myös turvallinen, sillä se kulkee eteenpäin eikä turhaa peruuttelea tapahdu.

Lumen lähisiirto tulee ottaa huomioon myös kalustohankinnoissa. Jos lähisiirtoa lisätään, tulee myös kaluston vastata sen tarpeita. Esimerkiksi suuremmilla kauhoilla pystytään siirtämään lunta enemmän kerralla. Lisäksi täytyy varmistaa, että resursseja eli tarvittavia koneita ja työmiehiä on käytössä tarpeeksi. Toisaalta vähentynyt lumenkuljetus vapauttaa resursseja kuljetuspuolelta. On hyvä myös pohtia, voisiko auras kalus-



toa käyttää lumen lähisiirrossa. Esimerkiksi nivelaurlalla (kuva 44) voisi lumen lähisiirtäminen myös onnistua.



*Kuva 44. Lumen lähisiirtäminen nivelaurlalla on myös mahdollista (kuva: Meiren Snow)*

Kaluston valinnassa tulee ottaa huomioon myös laki kaupallisista tavarankuljetuksista tiellä (693/2006). Lain mukaan tavarankuljetus tiellä korvausta vastaan on luvanvaraista liikennettä ja siihen tarvitaan tavaraliikennelupa. Myös lumen kuljettaminen pyöräkuormaimella lasketaan tavarankuljetukseksi vaikka kuljetusmatkat olisivat lyhyitä.

#### **4.4.4 Lähisiirtoalueet kaavoituksessa**

Kaavoituksen tavoitteena on tehdä kaunista ja toimivaa kaupunki- ja katuymäristöä. Ylläpidon tarpeet eivät yleensä ole lähtökohtana kaavoituksen suunnittelussa. Saman asian totesi myös Kolehmainen (2011) työssään. Kaavoittaja kuitenkin tekee yhteistyötä yleissuunnitelmien suunnittelijoiden kanssa, jotka tarkastavat muun muassa katujen mitoitus. Kaavat ovat myös yleisön nähtävissä ja kuka tahansa osallinen kuten asukas tai maanomistaja voi kommentoida kaavaa jokaisessa kaavoitusvaiheessa. Ylläpitäjät toisaalta kokevat, ettei heidän mielipiteitään oteta riittävästi huomioon. Jyväskylässä kaavoittaja toivoi, että olisi olemassa työkaluja tai ohjeita, jonka mukaan myös ylläpidon ongelmat voisi ottaa kaavoituksessa huomioon.

Kaavoitus on tasapainoilua ja kompromissien tekemistä kauniin ja kaupunkimaisen katutilan ja ylläpidon vaatimusten kanssa. Valtuustossa ja muissa kuntien päättävissä elimissä kaavoituspäätökset tehdään yleensä vertaamalla tonttien myynnistä tulevia myyntivoittoja ja kunnallistekniikan kustannuksia toisiinsa. Kadun ylläpidosta aiheutuvia kustannuksia ei ole voitu ottaa huomioon, koska tarkkaa tietoa ei ole ollut olemassa. Olisi hyvä, että tulevaisuudessa päätöksen tueksi voisi ottaa muun muassa lumen kuljetuksesta aiheutuvat kustannukset. Toimiva katutila on kestävämpi sekä miellyttävämpi myös asukkaille.

Haastateltavien mielestä olisi parasta, että lumen lähiläjitykseen varatut paikat olisi merkitty jo ennalta asemakaavaan. Alueet, joihin jo nyt ohjataan hulevedet, kannattaisi hyödyntää. Lähisiirtoalueen voisi merkitä asemakaavaan esimerkiksi vapaana puistona (kaavamerkintä VP) tai erikoisalueena (kaavamerkintä E) ja lisämerkinnällä *varattu hulevesille ja lumenvarastointiin*. Silloin myös asukkaille olisi selvää kyseisen alueen käyttö eikä lumen läjitys lähimaastoon tulisi yllätyksenä. Pysäköintipaikkoja ja hiekkakenttiä on mahdollista myös käyttää läjitykseen, mutta silloin on syytä varautua alueiden käyttäjien valituksiin.

#### 4.4.5 Ehdotuksia esimerkkikatujen lähisiirtopaikoiksi

Esimerkkikatujen ympäristö on tiiviisti rakennettu, mutta lähistöltä on kuitenkin mahdollista löytää lumen lähiläjitykselle tilaa. Tässä kappaleessa on esitelty ehdotuksia lähisiirtopaikoiksi kahdelle esimerkkikadulle.

Palokkaan (suullinen tiedonanto 19.6.2012) mukaan 150 m<sup>2</sup> alueelle voidaan läjittää noin 500 m<sup>3</sup> lunta. Kyseistä lukua on tässä käytetty arvioimaan lähisiirtoalueen suuruutta. Tilantarve tiettyä lumimäärää kohden on esitetty yksinkertaistetusti taulukossa 34. Aiemmin (kohdassa 3.1.2) on esitetty, että aurausvallissa olevan lumen tiheys on 400 kg/m<sup>3</sup> ja lumikasassa tiivistettynä 500 kg/m<sup>3</sup>. Taulukossa 35 on esitetty lumikasassa olevan lumen tilavuus, kun oletetaan, että se tiivistyy edellä mainitulla tavalla.

Taulukko 35. Tilantarve tiettyä lumimäärää kohdan

<i>Lumimäärä (m<sup>3</sup>)</i>	<i>Tilantarve (m<sup>2</sup>)</i>
500	150
1000	300
1500	450
2000	600

Taulukko 36. Kasassa olevan lumen tilavuus

<b>Katu</b>	<i>Kasatun lumen tilavuus (m<sup>3</sup>)</i>		
	<b>Runsasluminen</b>	<b>Normaaliluminen</b>	<b>Vähäluminen</b>
Kyläkunnantie	1008	592	464
Pakilantie	2000	1288	1056
Simo Klemetinpojan tie	642	258	186
Tilanhoidajankaari	1992	1040	592
Lukkotie	304	216	168
Teljintie	808	584	480
Tertunhaka	120	72	56
Välitie	624	496	432

Ihanteellista olisi, että kaikki lumi mahtuisi lähialueelle eikä lunta tarvitsisi kuljettaa ollenkaan. Tavoitteeksi voi ensin ottaa sen, että vähälumisena tai normaalilumisen talvena lunta ei tarvitsisi kuljettaa, mutta runsaslumisena talvena lähisiirto ei yksin riitä.

### Tilanhoitajankaari

Tilanhoitajankaaren läheisyydessä on kaksi paikkaa, joita voisi käyttää lumen lähisiirto-paikkoina. Molemmat paikat sijaitsevat Tilanhoitajankaaren varrella olevan urheiluhallin ja – kentän läheisyydessä (kuva 45).



Kuva 45. Ehdotukset lähisiirto-alueiksi Tilanhoitajankaarella (kuvat Helsinginseutu.fi). Punaisella merkityn vihheruuden pinta-ala on arvioilta 300-500m<sup>2</sup>. Sinisellä merkitylle metsäalueelle voisi rakentaa mahdollisesti noin 200 m<sup>2</sup> alueen. Violetilla on merkitty alue, jonka ylijäämälumet lähisiirto-alueille mahtuvat.

Urheilukentän oikealla puolella on vihheruutu, johon lunta olisi mahdollista läjittää. Vihheruutu on noin 100 metriä pitkä, joten läjityspinta-alaa olisi arvioilta noin 300–500 m<sup>2</sup>. Näin alueelle pystyttäisiin läjittämään 1 000 – 1 700 m<sup>3</sup> lunta eli ainakin vähä- ja normaalilumisen talven lumet sekä suuri osa myös runsaslumisen talven lumista. Kulkuyhteyttä alueelle ei tarvitse erikseen rakentaa, vaan kentälle johtavaa hiekkatietä voisi käyttää hyödyksi. Urheilukentän viereiseltä pysäköintialueelta on erillinen reitti urheiluhallille ja -kentälle jota kautta myös muu jalankulku voidaan ohjata. Nurmi-alue on hyvin keskeisellä alueella, joten alueen kuivatus ja puhdistus keväisin hiekoitushiekasta tulee tehdä huolellisesti. Alueella ei vaadi suuria ennakkotöitä, sillä puuston poistotarvetta ei juuri ole. Maan kantavuus tulee kuitenkin arvioida. Urheilukentän pohjoispuolella on metsäalue, joka voitaisiin myös hyödyntää lähisiirto-alueena. Metsäalueelle olisi



mahdollista rakentaa arviolta 200 m<sup>2</sup> alue, johon mahtuisi läjittämään lunta noin 670 m<sup>3</sup>. Ennen käyttöönottoa metsäalueelta tulisi raivata puustoa ja rakentaa kulkuyhteys alueelle. Aluetta hyödyntäessä tulee ottaa huomioon metsäalueen itäreunassa pysäköintialueen vieressä oleva koirapuisto, jottei sen käyttö häiriinny.

Käyttämällä molempia alueita pystyisi Tilanhoitajankaaren kaikki ylijäämälumet myös runsaslumisena talvena läjittämään lähialueelle. Ongelmaksi muodostuu kuitenkin se, että tutkittu osuus on 513 m pitkä, jolloin pisin siirtomatka näille alueille olisi lähes 400 metriä. Kokonaisuudessaan katu 1,2 km pitkä. Jotta siirtomatkat eivät tulisi kohtuuttoman suuriksi, olisi hyvä, että Tilanhoitajankaaren varrella olisi vähintään kolme lähisiirtopaikkaa tasaisesti sijoitettuna. Silloin lähisiirtomatkat olisivat korkeintaan 300 metriä, joka sekin on hieman liian pitkä. Tilanhoitajankaarella onkin järkevämpää ajatella lähisiirtoa alueittain eikä yksittäisen kadun näkökulmasta. Kuvassa 46 on esitetty ratkaisu, jossa lähisiirtoalueelle tuotaisiin lunta sekä Maakaarelta että Tilanhoitajankaarealta. Maakaarelle ei ole lumitaselaskelmia tehty, joten aluetta ei voi tässä tarkasti määritellä. Ongelmaksi jää toki vielä lähisiirtopaikan löytäminen Tilanhoitajankaaren pohjoisosan lumille.



Kuva 46. Ehdotus lyhyemmistä lähisiirtomatkoista.

Tilanhoitajankaaren lumilogistiikkakustannukset tutkitun 500 metrin osuudelta on esitetty taulukossa 37.



Taulukko 37. Tilanhoitajankaaren lumilogistiikkakustannukset euroina tutkittavalta osuudelta

	Tilanhoitajankaaren lumilogistiikka kustannukset (€)		
	Runsasluminen	Normaaliluminen	Vähäluminen
VE0	17 430	9 100	5 180
VE1	14 069	7 345	4 181
VE2	11 828	6 175	3 515
VE3	9 587	5 005	2 849
VE4	6 225	3 250	1 850

## Teljintie

Teljintie on 536 metriä pitkä, joten olisi hyvä, että tien varrella olisi vähintään kaksi lähisiirtopaikkaa, jotteivät lähisiirtomatkat tule liian pitkiksi. Teljintien lumiylijäämäksi on eri talvina laskettu noin 500 – 800 m<sup>3</sup>. Tälle määrälle lunta tarvitaan noin 300 m<sup>2</sup> suuruinen alue, joka voidaan toteuttaa esimerkiksi kolmella 100 m<sup>2</sup> kokoisella lähisiirtoalueella (kuva 47). Ehdotetut alueet sijaitsevat lähivirkistysalueella ja jokaisesta kohdasta lähtee ulkoilureitti ko. alueelle. Eteläisintä lähisiirtopaikkaa on mahdollista käyttää myös Aspitien lumen läjittämiseen.



Kuva 47. Ehdotukset lähisiirtopaikoiksi Teljintielle. Metsäalueilta olisi mahdollista raivata kolme 100 m<sup>2</sup> aluetta, jolloin lunta mahtuisi läjittämään jopa 1000 m<sup>3</sup>. Alueiden väliset matkat on merkitty kuvaan (kuvat Jyväskylän karttapalvelu).

Kulkuyhteyksiä alueille ei tarvitse erikseen rakentaa vaan ulkoilureitit voivat toimia kulkureitteinä. Ulkoilureittien käyttö ei kuitenkaan saa häiriintyä talvellakaan. Siksi Sökkakujan kohdalta lähtevä ulkoilureitti jätetäänkin koskemattomaksi. Teljintien län-

sipuolella oleva metsäalue on rinteessä, joten kuivatus alueella on suunniteltava hyvin. Pienten lähisiirtoalueiden hyvät puolet toisaalta ovat, että lumi sulaa nopeammin kuin isolta kasalta ja sulamisvedet valuvat maastoon laajemmin kolmesta paikkaa kuin yhdestä isosta. Teljintien lumilogistiikkakustannukset eri vaihtoehdoille on esitetty taulukossa 38.

*Taulukko 38. Teljintien lumilogistiikkakustannukset euroina*

	<i>Teljintien lumilogistiikkakustannukset (€)</i>		
	Runsasluminen	Normaaliluminen	Vähäluminen
VE0	7 070	5 110	4 200
VE1	5 707	4 125	3 390
VE2	4 798	3 468	2 850
VE3	3 889	2 811	2 310
VE4	2 525	1 825	1 500

## 4.5 Muita lumilogistiikan tehostamisen keinoja

Haastattelujen yhteydessä tuli esille lumen lähisiirron lisäksi muita keinoja, joilla lumilogistiikkaa voisi tehostaa. Tässä kappaleessa on esitetty kolme tapaa.

### **Lumilingon käyttö lumen lähisiirrossa ja kuormauksessa**

Lumilinko on hyvä väline lumen sekä lumen lähisiirrossa että kuormauksessa. Lähisiirtoon lumilinko soveltuu silloin, kun tilaa on hyvin. Maastoon lingottaessa lumi levittyy tasaisemmin eikä synny yksittäisiä kasoja. Linkoaminen on nopeampaa kuin lumen siirtäminen kauhakuormaimella ja lumi tiivistyy samalla. Lingotun lumen tiheys on 600 kg/m<sup>3</sup>, mikä on 33 % suurempi kuin aurausvallissa olevan lumen tiheys. Pyöräkuormaimella kauhotun lumen tiheys ei juuri eroa aurausvallissa olevan lumen tiheydellä. Käyttämällä kuormaavaa linkoa kuorma-autojen lastaamisessa, myös kuljetettavien kuormien määrää voidaan vähentää yli 30 prosentilla.

### **Parikadut yksisuuntaisiksi**

Kaduilla, jolla on monia samansuuntaisia katuja, on mahdollista muodostaa ajolenkkejä, muuttamalla osan kaduista yksisuuntaisiksi talven ajaksi. Lumitilaa tulisi silloin enemmän, kun ajoneuvoliikennettä olisi vain yhteen suuntaan. Kyseinen menetelmä sopisi hyvin esimerkiksi Helsingin Pakilaan (kuva 48).



Kuva 48. Esimerkki yksisuuntaisten parikatujen käytöstä Pakilassa

### Vuoropysäköinti

Vuoropysäköinnillä, jossa sallitaan pysäköinti tiettyinä päivinä vain toisella puolen kadua, on Helsingissä ja Jyväskylässä helpotettu talvihoitoa. Katujen auraaminen ja lumivallien poistaminen on helpompaa, kun toinen puoli kadusta on vapaana pysäköinnistä. Vuoropysäköintiä voisi ottaa käyttöön myös muissa kaupungeissa.

## 5 Tulosten analysointi

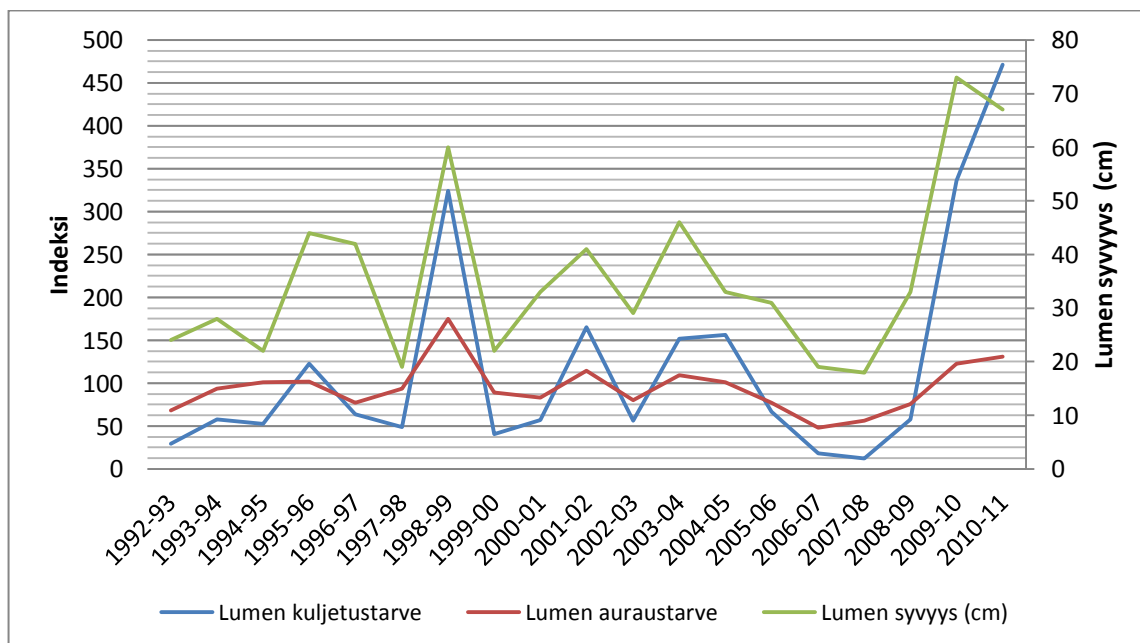
### 5.1 Tyypitalvien valinta

Tyypitalvet, joille lumitaselaskelmat tehtiin, valittiin lumensyvyyden maksimien perusteella. Tyypitalvien lumikertymät ovat hyvin oleellisia muuttujia lumitaselaskuissa, joten on tärkeää arvioida, kuinka hyvin talvien valinnat osuivat kohdalleen.

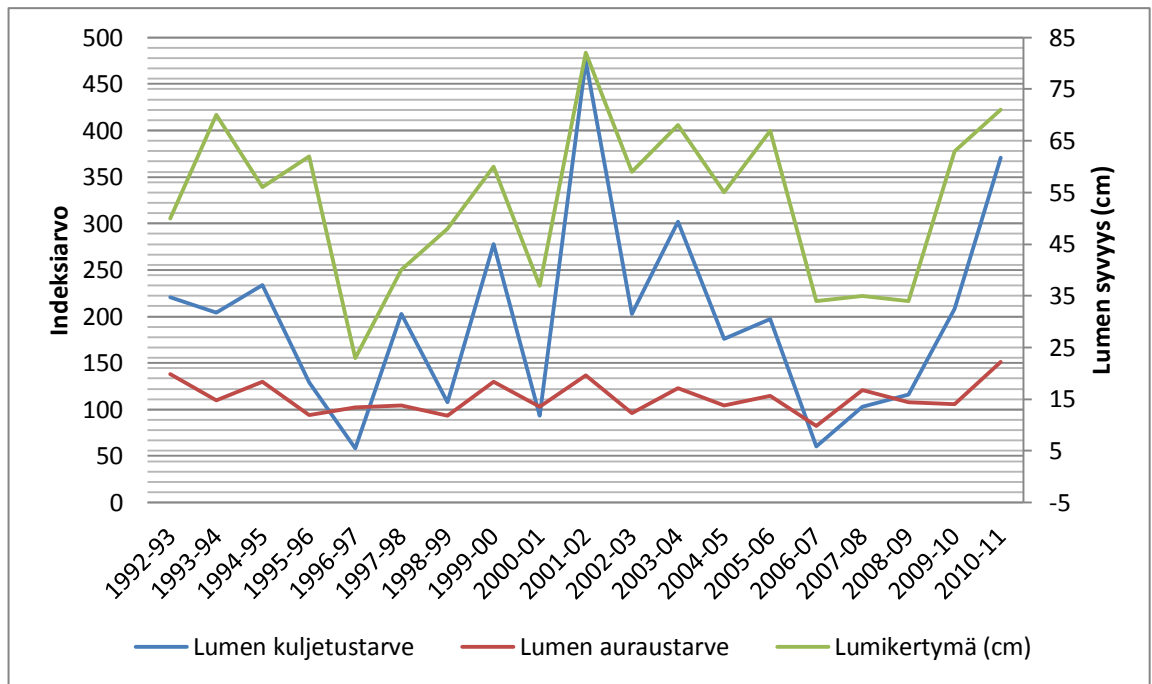
Tyypitalvien valintojen toimivuutta tutkittiin vertaamalla talven rankkuutta kuvaavia lumenkuljetus- ja auraustarveindeksejä (luku 2.2.3) lumen maksimisyvyyden perusteella jaoteltuihin talviin. Oletuksena oli, että runsaslumiseksi oletetulla talvella on myös suuremmat indeksit. Helsingin talville lasketut lumenkuljetus- ja auraustarveindeksit vuosille 1992–2011 on saatu Helsingin kaupungilta. Jyväskylän vastaavat luvut on laskettu Ilmatieteen laitoksen toimittamien tilastojen avulla. Taulukossa 39 on esitetty lumenkuljetus- ja auraustarveindeksien maksimi- ja miniarvot. Kuvissa 49 ja 50 on esitetty vuosien 1992–2011 lumenkuljetus- ja auraustarveindeksit Helsingistä ja Jyväskylästä sekä lumen syvyyden vaihtelut. Tarkemmat arvot ovat liitteessä 11.

Taulukko 39. Indeksien maksimi- ja minimiarvot

	<i>Lumenkuljetustarve maksimi</i>	<i>Lumenkuljetustarve minimi</i>	<i>Auraustarve maksimi</i>	<i>Auraustarve minimi</i>
Helsinki	471	12	175	48
Jyväskylä	475	58	151	82



Kuva 49. Lumen kuljetus- ja auraustarveindeksit Helsingissä (muokattuina lähteestä: Ville Alatyppö 2012)



Kuva 50. Lumen kuljetus- ja auraustarveindeksit Jyväskylässä

Sekä taulukosta että kuvaajista nähdään, että indeksien arvojen vaihteluväli, varsinkin lumenkuljetustarveindeksillä, on hyvin suuri. Auraustarveindeksi vaihtelee tasaisemmin. Lumenkuljetustarveindeksin kuvaajan muoto noudattelee lumen syvyyden kuvaajan muotoa. Auraustarveindeksi ei noudata yhtä tiiviisti lumen syvyyttä, mutta selvät nousut ja laskut lumen syvyyden mukaan ovat senkin kuvaajasta huomattavissa.

Indeksille laskettiin keskiarvot ja oletettiin, että keskimääräisen talven indeksiarvo vaihtelee kuljetustarpeelle  $\pm 30$  ja auraustarpeelle  $\pm 20$  keskiarvoon verrattuna. Sitä suuremman indeksin omaavat talvet oletetaan olevan runsaslumisina ja pienemmät vähälumisina. Vertaamalla tätä jakoa lumen maksimisyvyyden mukaan luokiteltuihin talviin, voidaan todeta, ettei tyyppitalvien valinta noudata täysin kuljetus- ja auraustarveindeksien mukaisia talvia. Yhteneväisyyksiä kuitenkin on, varsinkin runsaslumisina ja vähälumisina talvina. Jos verrataan lumen syvyydellä arvioitua tyyppitalvea pelkästään toiseen indekseistä, on yhteneväisyys paljon suurempi. Silloin jopa 89 % talvista on luokiteltu yhtenevästi. Jaottelu sekä vertailu on esitetty liitteessä 11.

### 5.1.1 Sulamisen vaikutus

Talven aikana lunta sulaa jonkin verran. Lämpötilan mukaan voi lumipeitteen paksuus vaihdella suurestikin talven aikana. Tutkittaessa sadetilastoja (luku 3.1.1) huomattiin, että Helsingin talville on tyypillisempää kuin Jyväskylälle se, että lunta sulaa välissä pois. Tyyppitalvien jaottelussa ja lumitaselaskelmissa ei kuitenkaan otettu erikseen huomioon lumen sulamista talven aikana, vaan laskelmat tehtiin lumikertymille eli positiivisille lumen syvyyden muutoksille. Sulamisen vaikutusta kuljetukseen on tutkittu

vertaamalla lumen kuljetusmääriä Oulunkylän lumenvastaanottopaikalle ja lumen syvyyden vaihteluja vuosien 2003–2011 välillä (kuvaaja esitetty liitteessä 12). Kuvaajien perusteella on kuitenkin vaikea aukottomasti sanoa, kuinka paljon lumen sulamisella on merkitystä lumen kuljettamiseen. Lunta kuljetetaan hieman vähemmän silloin, kun lumen syvyys vähenee, mutta sulaminen ei kuitenkaan poista kuljetustarvetta. Lumen kuljetus joudutaan aloittamaan silloin, kun lumitilat täyttyvät, etukäteen ei voi varmasti. Kuljetusmääriin vaikuttavat myös urakoitsijoiden kanssa tehdyt sopimukset. Jos on sovittu, että urakoitsija saa maksun jokaisesta kuljetetusta kuormasta, kannattaa urakoitsijan kuljettaa, vaikkei todellista lumen kuljetustarvetta olisikaan.

## 5.2 Lumitaselaskelmat

Lumitaselaskelmien perusteella kaikilta esimerkkikaduilta joudutaan kuljettamaan lunta pois, jos lumivallin maksimikorkeus on 0,6 metriä. Myös 1,0 metrin korkeudelta lunta joudutaan kuljettamaan pois kaikilta muilta kaduilta paitsi Simo Klemetinpojan tieltä ja Tertunhaasta. Jos kaikkea lunta ei haluta kuljettaa lumen vastaanottopaikoille, tulisi ylijäämä lumi sijoittaa lähialueille.

Laskelmien mukaan lumitilat täyttyvät kokoojakaduilla asuntokatuja nopeammin. Haastattelujen perusteella ongelmaksi nostettiin kuitenkin asuntokadut. Tämä ristiriita johtuu luultavasti siitä, että asuntokadut kuuluvat useimmiten III-luokkaan hoidon osalta, joten ne puhdistetaan lumesta viimeksi ja silloin lunta on saattanut kerääntyä paljon. Lumiylijäämälaskelmia voidaan jatkossa käyttää suunnittelun apuna riittävää lumitilaa mitoittaessa. Laskelmia lumitilat täyttävästä kertymästä on mahdollista käyttää talvihoitourakoissa arvioimaan lumen kuljetus- ja lähisiirtotarpeen ajankohtaa.

Virhetarkastelusta huomataan, että lumitaselaskelmat pitävät sekä ylijäämän että lumitilat täyttävän lumikertymän suhteen parhaiten paikkansa runsaslumisena talvena. Vertailtaessa laskelmia kuljetuksen kynnysarvoihin ja vertailulukuihin poikkesivat normaallilumisen ja vähälumisen talven tulokset eniten toteutuneista. Tosin on hyvä huomata, että virhetarkastelu ei ollut täysin kattava, sillä esimerkiksi vertailu kuljetuksen aloittamisen kynnysarvoihin tehtiin ainoastaan Helsingin yhden vastaanottopaikan arvoihin. Lisäksi pitää ottaa huomioon, että ylläpidon ja kaavoituksen kannalta onkin järkevää varautua juuri runsaslumisen talveen, silloin ongelmia ei synny myöskään vähä- tai normaallilumisena talvena.

Lumitaselaskelmat tehtiin tietyille oletuksille ja kuten herkkyysanalyysistä voidaan huomata, voivat lopputulokset ylijäämän arvoilla ja lumitilan täyttymiselle olla täysin erilaiset, jos otetaan erilaiset lähtöarvot. Tässä tutkimuksessa esitetty laskentatapa on kuitenkin vain yksi tapa arvioida lumimäärää kadulla ja lumitilojen riittävyttä.

### 5.2.1 Tiivistymisasteen valinnan vaikutus

Herkkyysanalyysin (luku 4.2.3) avulla todettiin, että tiivistymisaste on merkittävin tekijä silloin, kun muuttujien arvoa pienennetään. Laskennallisia ja toteutuneita vertailulukuja vertaamalla huomattiin, että vain runsaslumisen talven laskennalliset arvot vastasivat toteutuneita arvoja. Muuttamalla Helsingin normaali- ja vähälumisen talven tiivistymisasteen arvoa neljästä kuuteen saadaan normaalilumisen talven vertailuluvun keskiarvoksi 0,06 ja vähälumisen talven vertailuluvuksi 0,04. Saadut luvut vastaavat paremmin toteutuneita arvoja. Jyväskylän vertailulukuja ei tässä otettu huomioon, koska kuljetettuja lumimääriä on saatavilla vain neljältä vuodelta.

Vertailulukuarvon lisäksi tiivistymisaste vaikuttaa myös lumikertymään, jonka oletetaan täyttävän lumitilat. Taulukossa 40 on esitetty sekä lumitilat täyttävä lumikertymä että vertailulukuarvot silloin, kun tiivistymisaste on kuusi. Vertailuluvut vastaavat paremmin toteutuneita arvoja, mutta lumikertymät ovat suurempia kuin ne lumikertymät, joilla lunta on aiempina talvina alettu kuljettaa. Jyväskylän vertailulukuja ei tässä otettu huomioon, koska kuljetettuja lumimääriä on saatavilla vain neljältä vuodelta.

*Taulukko 40. Lumitilat täyttävä lumikertymä sekä vertailuluvut normaali- ja vähälumisen talvena silloin, kun tiiviysaste on kuusi.*

	<i>Lumitilat täyttävä lumikertymä (cm)</i>	<i>Vertailuluku normaalina talvena</i>	<i>Vertailuluku vähälumisenä talvena</i>
Kyläkunnantie	71	0,07	0,05
Pakilantie	49	0,11	0,08
Simo Klemetinpojan tie	130	0,02	0,01
Tilanhoitajankaari	92	0,05	0,03

Tiivistymisasteen valinnalla on siis suuri merkitys eikä sitä pystytä ilman mittauksia tarkkaan määrittämään. Jos tiivistymisasteeksi arvioidaan pienemmäksi kuin se todellisuudessa olisi, varmistetaan, että lumen siirtäminen ja kuljetus aloitetaan ennen kuin lumi tukkii kadut.

### 5.3 Katujen lumilogistiikkakustannukset ja hiilidioksidipäästöt

Lumen lähisiirto tulee selvästi halvemmaksi kuin lumen kuljettaminen. Lähisiirtämällä 30 % lumesta, saadaan 19 % kustannussäästöt. Samoin hiilidioksidipäästöt vähenevät 12 %. Pelkän lähisiirron kustannukset olisivat 64 % pelkkään kuljetukseen verrattuna. Talvihoitokustannusten ollessa useampia miljoonia euroja, ovat säästömahdollisuudet lähisiirron avulla hyvin suuret. Kolehmainen (2011) on tutkimuksessaan todennut, että vähälumisenakin talvena Helsingissä ovat lumen kuljetuskustannukset olleet yli neljä miljoonaa euroa. Lähisiirtämällä 30 % lumesta, voidaan vähälumisenakin talvena sääs-



tää lähes miljoona euroa. Runsaslumisina talvina kuljetuskustannukset ja siten myös lumen lähisiirrolla saavat säästöt ovat moninkertaiset.

Helsingissä kuljetettiin runsaslumisena talvena 2010 – 2011 lunta 320 000 kuormallista lunta eli noin 4 800 000 m<sup>3</sup>. Kolmekymmentä prosenttia tästä määrästä on 1 440 000 m<sup>3</sup> eli sitä määrää varten tarvittaisiin 150 m<sup>2</sup> lähisiirtoalueita 2 880. Talvella 2003 - 2004 sama luku olisi ollut 420.

Kunnossapitokustannukset lumen kuljetuksen ja siirron osalta ovat Helsingissä selvästi Jyväskylää korkeammat. Myös kokoojakatujen kustannukset ovat selvästi asuntokatuja suuremmat. Molemmat selittyvät katupoikkileikkausten eroilla. Helsingin esimerkkikatut olivat jonkin verran Jyväskylän katuja leveämmät, joten lunta kertyy enemmän, vaikka Jyväskylässä lunta sataa hieman enemmän kuin Helsingissä. Asunto- ja kokoojakatujen erot selittyvät myös katupoikkileikkausten leveyksien eroilla. Kokoojakadut ovat leveämpiä, mutta lumitilat eivät kovin paljoa poikkea asuntokatujen lumitilojen leveyksistä.

Kirjallisuuteen verrattuina kustannus- ja hiilidioksidipäästösäästöt ovat samansuuntaisia. Reinosdotter et al. (2003) mukaan käyttämällä lähiläjityspaikkoja kustannuksia säästyisi 80 % ja hiilidioksidipäästöt vähenisivät 41 %. Tässä tutkimuksessa vaihtoehto VE4 eli kaikki lumi lähisiirrettiisiin, säästäisi kustannuksia 64 % ja hiilidioksidipäästöt vähenisivät 49 %.

## 5.4 Lumenlähisiirtoalueiden suunnittelu

Maastohavainnot tukivat haastatteluissa saatua tietoa lähisiirtopaikkojen jälkihoitotarpeesta. Kirjallisuustutkimuksen, haastattelujen ja maastohavaintojen perusteella voidaan antaa lähisiirtoalueiden suunnitteluun seuraavat yleiset ohjeet:

- Lähisiirtoalueet suunnitellaan alueellisina kokonaisuuksina
  - uusia alueita suunniteltaessa ja kaavoittaessa, tulee jo kaavaan varata paikka lähisiirtoalueille
  - rakennetuilla alueilla kannattaa hyödyntää rakentamattomat alueet ja luontaiset paikat, johon jo nyt sadevedet valuvat
- Kuivatus suunniteltava hyvin
  - sulamisvedet voidaan joko imeyttää maastoon tai johtaa kaivon avulla muiden hulevesien mukana vesijohtoverkostoon
  - sulamisvedet eivät saa aiheuttaa haittaa asukkaille
- Etukäteisvalmistelut tehtävä ajoissa
  - syksyllä kasvillisuuden raivausta
  - suuremmat alueet rakennetaan kunnolla
- Lähisiirtoon soveltuvat parhaiten pyöräkuormain ja lumilinko



- Jälkihoitoa ei saa unohtaa
  - lumen sulaessa roskat on kerättävä pois
  - hiekoitushiekka on hyvä kerätä talteen
- Maapohjan kantavuuden on oltava riittävä
  - kestävä pyöräkuormaimen tai muun työkoneen liike
  - kantavuutta on mahdollista parantaa massanvaihdoilla

Lumen lähisiirron hyvät ja huonot puolet on koottu haastattelujen, kirjallisuustutkimuksen sekä maastotutkimuksen perusteella taulukkoon 41.

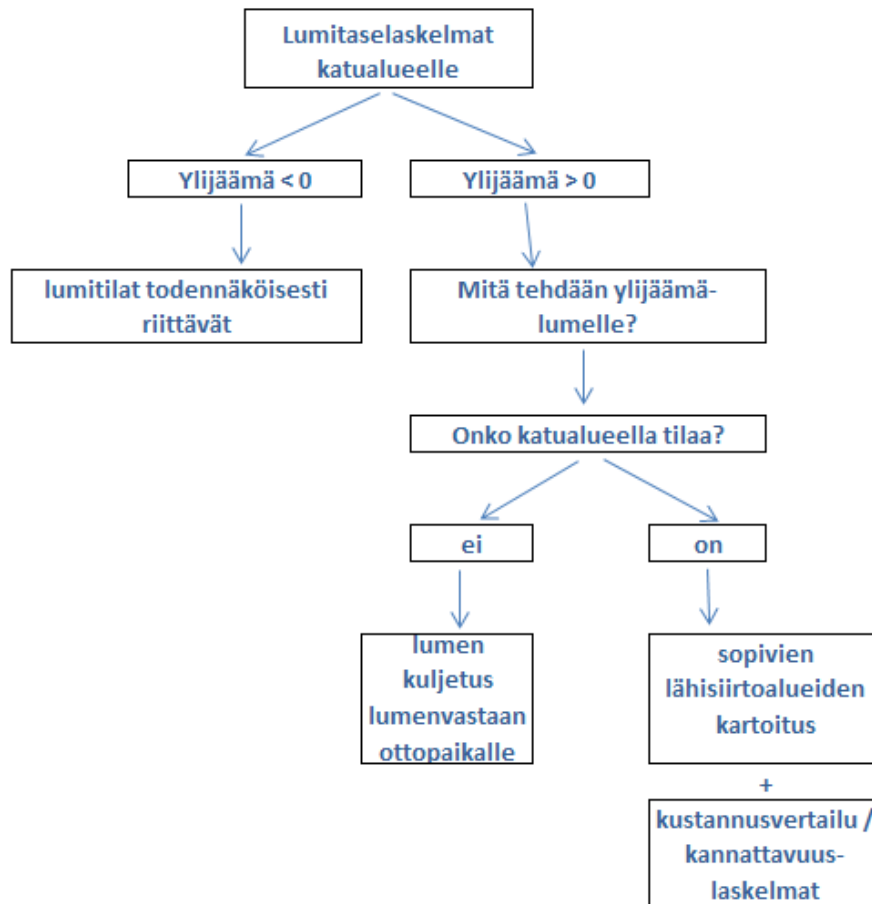
*Taulukko 41. Lumen lähisiirron hyvät ja huonot puolet*

Lumen lähisiirto	
Hyvät puolet	Huonot puolet
- Kustannukset: lumen lähisiirto on selvästi halvempaa kuin lumen kuljettaminen	- Roskaantuminen: lumen sulaessa roskat ja hiekoitushiekka tulevat esille
- Turvallisuus: vähemmän raskasta ajoneuvoliikennettä	- Turvallisuus: leikkivät lapset lumikasoissa
- Sulamisvedet: lumen sulaminen tasaisempaa	- Lumikasan alla olevan kasvillisuuden kasvukausi myöhästyy hieman
- Ympäristövaikutukset: kuljetuksista aiheutuva hiilidioksidipäästöt	

Suomessa ei kuitenkaan ole syytä ottaa käyttöön samanlaista lumen luokittelujärjestelmää kuin Ruotsissa, sillä lumen haitta-ainepitoisuuksien on todettu olevan hyvin pieniä. Lähisiirtoalueille tuleva lumi on todennäköisesti puhtaampaa kuin vastaanotto-alueille tuleva lumi, sillä se siirretään lähialueelta. Mitä nopeammin lumi siirretään kadulta pois, sitä vähemmän lumen sekaan ehtii kertymään roskia. Mereen tai muihin vesistöihin lumen lähisiirtämistä ei kirjallisuustutkimuksen perusteella voida suositella, sillä vesistöissä roskaantumista on hankalampi hallita.

Suomessa olisi hyvä ottaa käyttöön kanadalaisen mallin mukainen aluekohtainen sektorisuunnittelu, jossa alueet ovat jaettu sektoreihin ja tietyille sektorille on osoitettu oma lumenvastaanottoalue. Silloin myös urakoitsijoille olisi selvempää, mihin vastaanotto-alueelle tai lähisiirtoalueelle, miltäkin alueelta lunta voi viedä. Olisi hyvä, että sektorisuunnittelussa otettaisiin huomioon myös kiinteistöjen lumet. Kaupunkien tulisi systemaattisesti käydä katualueensa läpi ja tutkia olisiko siellä hyödyntämättömiä ja käyttökelpoisia alueita kuten tyhjiä tontteja, joita voisi käyttää lumen lähisiirtoon.

Lumilogistiikan tehostamisprosessi voidaan esittää seuraavana kaaviokuvana.



Kuva 51. Prosessikaavio lumilogistiikan tehostamisesta

## 5.5 Jatkotutkimusaiheet

Tässä diplomityössä käytetyt laskentamenetelmät pohjautuvat pitkälti erilaisiin oletuksiin ja arvioihin. Näitä laskentamenetelmiä olisi syytä tutkia tarkemmin ja seurata, miten laskelmat todellisuudessa pitävät paikkansa. Yksi jatkotutkimuksen aihe on tehdä jollekin tietylle alueelle tapaustutkimus ja tarkkailla alueen lumilogistiikkaa talven aikana. Alueelle olisi hyvä tehdä lumitaselaskelmat ja tarkkailla talven aikana, miten ne toteutuvat. Olisi hyvä seurata kuljetetun lumen määrää ja sitä milloin kuljetus aloitettu eli mikä on kynnyslumikertymä lumen kuljetukselle. Keväällä voitaisiin laskea todelliset kustannukset lumenkuljetukselle ja lähisiirrolle, ja verrata niitä laskennallisiin kustannussäästöihin. Lisäksi olisi hyvä tehdä mittauksia lumen tiheydestä talven aikana ja seurata, miten lumen olomuoto muuttuu ja miten se vaikuttaa kuljetustarpeeseen. Lähisiirtomatkan pituuden kannattavuudesta olisi myös hyvä tehdä omat laskelmat.

## 6 Yhteenveto, päätelmät ja suositukset

Runsaslumisina talvina useat kaupungit ovat olleet ongelmissa kadulla olevan lumen takia. Lumitilat eivät ole olleet riittävät ja lunta on jouduttu kuljettamaan pois. Useissa kaupungeissa ovat myös lumenvastaanottopaikat täyttyneet ja varavastaanottoaikoja on jouduttu ottamaan käyttöön. Kuljettamisesta on aiheutunut suuria kustannuksia, melua ja kasvihuonepäästöjä. Tutkimuksessa mukana olleet kaupungit Helsinki, Jyväskylä, Tampere, Turku ja Vantaa ovat kaikki olleet ongelmissa riittämättömien lumitilojen kanssa talvina 2009 – 2010 ja 2010 – 2011.

Tutkimuksen tavoitteena oli kehitellä menetelmä esikaupunkialueiden tehokkaammalle lumilogistiikalle varsinkin runsaslumisina talvina. Menetelmään kuuluivat lumitaselaskelmat, kustannus- ja hiilidioksidipäästövertailu lumen kuljetuksen ja lumen lähisiirron osalta sekä lähisiirtopaikkojen määrittely. Lisäksi analysoitiin tutkimuksessa mukana olleiden kaupunkien talvihoidon nykytila. Kirjallisuustutkimuksen perusteella selvitettiin, mitä eri lumen käsittelytapoja on ja mitä vaikutuksia lumen läjittämisellä on. Lisäksi selvitettiin, miten lumen olomuoto muuttuu talven aikana.

Lumitaselaskelmat tehtiin neljälle esimerkkikaduille sekä Helsingissä että Jyväskylässä. Molempien kaupunkien kaduissa oli mukana sekä asunto- että kokoojakatuja. Laskelmien lähtötietoina olivat Ilmastokeskuksen sademäärä- ja lumen syvyysmittaukset 31 talven ajalta. Laskelmat tehtiin kolmelle eri tyyppitalvelle: runsaslumiselle, normaallilumiselle ja vähälumiselle talvelle ja kahdelle eri lumivallin sallitulle korkeudelle. Esimerkkikaduille laskettiin teoreettinen lumitila ja kadulle tuleva lumimäärä kunakin tyyppitalvena sekä näiden perusteella kadulla oleva lumiylijäämä. Jos ylijäämää ei ole, on katualue omavarainen eli kaikki katualueen lumet mahtuvat niille varattuun tilaan eikä lunta tarvitse kuljettaa pois. Jos taas ylijäämän arvo on suurempi kuin nolla, katualueen lumitila ei ole riittävä ja lunta joudutaan kuljettamaan pois. Lisäksi kaduille laskettiin lumikertymä, joka täyttää esimerkkikatujen lumitilat. Muuttujina laskemissa olivat lumivallin muoto eli lumivallin poikkipinta-ala, lumen tiheyden arvot eli tiivistymisaste ja sataneen lumen määrä.

Lumitaselaskelmien perusteella todettiin, että katujen lumitilat eivät ole riittävät. Laskelmien mukaan kaikilta esimerkkikaduilta lunta joudutaan kuljettamaan pois, jos lumivallin maksimikorkeus on 0,6 metriä. Myös 1,0 metrin sallitulla korkeudella lunta joudutaan kuljettamaan pois kaikilta muilta kaduilta paitsi Simo Klemetinpojan tieltä ja Tertunhaasta. Jos kaikkea lunta ei haluta kuljettaa lumen vastaanottoaikoille, tulisi ylijäävä lumi sijoittaa lähialueille.

Virhetarkastelu osoitti, että lumitaselaskelmat vastaavat todellisuutta parhaiten runsaslumisena talvena. Vertailtaessa laskelmia kuljetuksen kynnsarvoihin ja vertailulukuihin poikkesivat normaalilumisen ja vähälumisen talven tulokset eniten toteutuneista.

Virhetarkastelu ei ollut kuitenkaan täysin kattava, sillä esimerkiksi vertailu kuljetuksen aloittamisen kynnsarvoihin tehtiin ainoastaan Helsingin yhden vastaanottopaikan tilastoihin. Toisaalta ylläpidon ja kaavoituksen kannalta onkin järkevää varautua juuri runsaslumisen talveen, silloin ongelmia ei synny myöskään vähä- tai normaalilumisena talvena. Lumitaselaskelmat tehtiin tietyille oletuksille ja herkkyysanalyysistä huomataan, että lopputulokset voivat ylijäämälle ja lumitilan täyttymiselle olla täysin erilaiset, jos valitaan erilaiset lähtöarvot. Tässä tutkimuksessa esitetty laskentatapa on kuitenkin vain yksi tapa arvioida lumimäärää kadulla ja lumitilojen riittävyyttä.

Lumilogistiikan kustannus- ja hiilidioksidipäästöjä vertailtiin tekemällä neljä eri vaihtoehtovertailua:

**VE0:** Kaikki ylijäämälumi kuljetetaan lumenvastaanottopaikalle

**VE1:** 30 % lumesta lähisiirretään, 70 % kuljetetaan lumenvastaanottopaikalle

**VE2:** 50 % lumesta lähisiirretään, 50 % kuljetetaan lumenvastaanottopaikalle

**VE3:** 70 % lumesta lähisiirretään, 30 % kuljetetaan lumenvastaanottopaikalle

**VE4:** 100 % lumesta lähisiirretään

Kustannuslaskelmissa muuttujina olivat kuorma-auton lavakoko, lumimäärä sekä kuorma-auton että pyöräkuormaimen kuorman hinta. Hiilidioksidipäästölaskelmissa muuttujina ovat lumimäärä, CO<sub>2</sub> – kg poltettua diesellittraa kohden, kuorma-auton ja pyöräkuormaimen kulutus, kuorma-auton kuormakoko ja pyöräkuormaimen työsuorite. Lumilogistiikkakustannusvertailu osoitti, että lumen lähisiirto tulee selvästi halvemmaksi kuin lumen kuljettaminen. Lähisiirtämällä 30 % lumesta, saadaan 19 % kustannussäästöt. Samoin hiilidioksidipäästöt vähenevät 12 %. Pelkän lähisiirron kustannukset olisivat 64 % pelkkään kuljetukseen verrattuna. Talvihoitokustannusten ollessa useampia miljoonia euroja, ovat säästömahdollisuudet lähisiirron avulla hyvin suuret.

Lumiylijäämälaskelmia voidaan jatkossa käyttää suunnittelun apuna riittävää lumitilaa mitoitettaessa. Laskelmia lumitilat täyttävästä kertymästä on mahdollista käyttää talvihoitourakoissa arvioimaan lumen kuljetus- ja lähisiirtotarpeen ajankohtaa. Kustannuslaskelmia hyväksikäyttäen voidaan arvioida sitä, mikä on edullisin tapa käsitellä lunta.

Haastattelujen ja maastokäyntien perusteella arvioitiin lumen lähisiirtopaikkojen vaatimuksia ja paikkojen suunnittelulle yleiset ohjeet. Lähisiirtopaikkaa valittaessa tulee ottaa huomioon maaston muodot ja valita paikoiksi sellaisia paikkoja, joihin hulevedet normaalistikin valuvat. Silloin vältetään myös kuivatusongelmia. Kuivatus pitää ottaa alueiden suunnittelussa hyvin huomioon. Sulamisvedet voidaan joko imeyttää maastoon tai johtaa kaivon kautta vesijohtoverkostoon. Ne eivät saa kuitenkaan aiheuttaa haittaa asukkaille. Ennen käyttöönottoa lähisiirtopaikat tulee raivata suuremmasta kasvillisuudesta ja varmistaa, että maapohjan kantavuus on riittävä pyöräkuormaimella tai muulla työkonella liikkumiseen. Maapohjan kantavuutta on mahdollista pintamaan poistolla ja murskelisäyksellä. Jos alueelle ei ole kulkureittiä, on sellainen hyvä rakentaa. Lumen

sulaessa hiekoitushiekka ja lumen seassa olevat roskat tulevat esiin. Roskat tulee kerätä pois ja lumen sulattua kokonaan myös hiekoitushiekka. Lähisiirtoon soveltuu parhaiten pyöräkuormain tai lumilinko. Myös traktoreita ja osaa aurauskalustosta voidaan käyttää lumen lähisiirtoon.

Lähisiirtoalueet tulee suunnitella alueellisina kokonaisuuksina. Muutaman kuorman sijoittaminen ei muuta kokonaistilannetta tai vähennä kustannuksia merkittävästi. Kun kokonaisuus on suunniteltu huolella, on mahdollisuus vähentää lumen kuljetusta huomattavasti. Lumen lähisiirtopaikkojen hyvinä puolina ovatkin vähenevät kustannukset ja hiilidioksidipäästöt. Lisäksi turvallisuus paranee, koska raskaan ajoneuvoliikenteen osuus vähenee. Lumen sulaminen on myös tasaisempaa kasoilta, joten sulamisvedet on helpommin hallittavissa. Lumen siirron haittapuolina ovat roskaantuminen ja kasvukauden mahdollinen myöhästyminen lähisiirtopaikoilla.

Tutkimuksen perusteella kaupunkien suositellaan lisäävän lähisiirtoalueiden käyttöä. Uusilla alueilla lähisiirtoalueet tulisi suunnitella jo kaavoituksen yhteydessä ja merkitä selvästi kaavaan. Rakennetuilla alueilla lähisiirtoalueita sijoitetaan sinne, missä tilaa on. Kaupunkien tulisi kartoittaa, missä olisi tilaa lumelle. Rakentamattomia alueita ja paikkoja, johon hulevedet jo nyt valuvat, tulisi hyödyntää. Suomessa olisi hyvä ottaa käyttöön kanadalaisen mallin mukainen aluekohtainen sektorisuunnittelu, jossa alueet ovat jaettu sektoreihin ja tietylle sektorille on osoitettu oma lumenvastaanottoalue. Silloin myös urakoitsijoille olisi selvempää, mihin vastaanottopaikalle tai lähisiirtoalueelle mil-täkin alueelta lunta voi viedä.

Muita lumilogistiikan tehostamisen keinoja ovat lumilingon käyttäminen, parikatujen muuttaminen yksisuuntaisiksi talven ajaksi ja vuoropysäköinti. Lumilinkoa voidaan käyttää sekä lumen kuormaamisessa kuorma-auton lavalle että lumen lähisiirrossa. Lähisiirtoon linko soveltuu silloin, kun lunta pystytään linkoamaan suoraan maastoon esimerkiksi kevyen liikenteen väylän reunasta. Lumi levittyy silloin tasaisemmin eikä yksittäisiä kasoja synny. Lumilinko tiivistää lunta pyöräkuormainta enemmän. Käyttämällä linkoa kuormauksen apuna voidaan kuljetusmääriä vähentää 33 %. Muuttamalla parikadun yksisuuntaisiksi, saadaan kaduille enemmän tilaa lumelle ja talvihoito on helpompaa, kun tilaa tarvitaan vain kuin yhteen suuntaan kulkevalle ajoneuvoliikenteelle. Vuoropysäköinnillä, jossa sallitaan pysäköinti tiettyinä päivinä vain toisella puolen katu-a, on Helsingissä helpotettu talvihoitoa. Katujen auraaminen ja lumivallien poistaminen on helpompaa, kun toinen puoli kadusta on vapaana pysäköinnistä. Vuoropysäköinnin käyttöön ottoa suositellaan myös muihin kaupunkeihin.

## Lähdeluettelo

Alatyppö, V. 2012. *Kadun ylläpito*. Luentokalvot. Aalto yliopisto. Tien- ja kadun hoito ja ylläpito. 27.2.2012.

Alatyppö, V. 2011. *Lumitilojen tarpeesta kaupungeissa*. Tie&Liikenne. 7/2011. s.5-7. ISSN 0355-7855.

Boardman, B. Greenberg, D. Vining, A. & Weimer, D. 2001. *Cost- Benefit Analysis –Concepts and Practice*. 2nd ed. Prentice Hall Inc., Upper Saddle River, New Jersey, USA.

Campbell J.F., Langevin A. 1995. *Operations management for urban snow removal and disposal*. Transportation Research Part A: Policy and Practice. 1995. Vol 29. Nro 5. s.359-370. 0965-8564(95)00002-X. ISSN: 0965-8564

Helsingin kaupunki. 2001. *Katupoikkileikkausten suunnitteluohjeet*. Kaupunkisuunnitteluvirasto, Liikennesuunnitteluosasto. Helsinki 2.11.2001

Helsingin kaupunki. 2009. *Ympäristönsuojelumääräykset* 1.3.2009. [Viitattu 12.3.2012] Saatavissa: <http://www.hel.fi/ymparistonsuojelumääräykset>

Helsingin kaupunki. 2010a. *Lumen vastaanottopaikat, selvitys*. Helsingin kaupungin rakennusviraston julkaisut 2010:16/Katu- ja puisto-osasto. Helsinki. ISBN: 978-952-223-880-1

Helsingin kaupunki. 2010b. *Munkkiniemen aluesuunnitelma 2011-2020*. Helsingin kaupungin rakennusviraston julkaisut 11/2011. Katu- ja puisto-osasto. ISBN 978-952-223-700-2 (verkkoversio). Saatavissa :  
[http://www.hel.fi/static/hkr/julkaisut/2010/Munkkiniemen\\_alsu\\_web\\_yhdistetty.pdf](http://www.hel.fi/static/hkr/julkaisut/2010/Munkkiniemen_alsu_web_yhdistetty.pdf)

Helsingin kaupunki. 2011a. *Ylläpidon tuotekortit*. 2100 Talvihoito. Helsingin kaupungin rakennusvirasto. 2011.

Helsingin kaupunki. 2011b. *Kadunpidon kehittäminen –loppuraportti*. Helsingin kaupunki 28.2.2011. Saatavissa:  
[http://www.hel2.fi/hkr/julkaisut/ohjeet/aluesuunnitelman\\_lahtoaineisto/yllapito\\_kadunpidon\\_kehittaminen\\_raportti.pdf](http://www.hel2.fi/hkr/julkaisut/ohjeet/aluesuunnitelman_lahtoaineisto/yllapito_kadunpidon_kehittaminen_raportti.pdf)

Ho, C. L. I., Valeo, C. 2005. *Observations of urban snow properties in Calgary, Canada*. Hydrological Process. 2005. Vol 19 s. 459–473. doi: 10.1002/hyp.5544

Jätelaki 3.12.1993/1072

Jyväskylän kaupunki 2012. *Jyväskylän eteläinen alueurakka, liikenneväylien sekä puistojen hoidon ja kunnossapidon tehtäväkortit*. Jyväskylän kaupunki, kaupunkirakennepalvelut, yhdyskuntatekniikka.

Kolehmainen, L. 2010. *Katujen ylläpitokustannuksia lisäävät suunnitteluratkaisut*. Diplomityö. Aalto-yliopisto, Teknillinen korkeakoulu, Yhdyskunta- ja ympäristötekniikan laitos. Espoo. s. 115

Kuntaliitto. 2005. *Esteettömyys talvihoidossa*. ISBN 952-213-048-6

Kuntaliitto. 2006. *Katujen kunnossa- ja puhtaanapidon laatutaso ja väylien luokittelu*. ISBN 978-952-213-186-7.

Kuntaliitto. 2008. *Katujen ja kevyen liikenteen väylien ylläpitosuunnitelman ohje*. Helsinki 2008. ISBN 978-952-213-354-0

Kuopion kaupunki. 2009. *Selvitys ylijäämämaiden ja aurauslumen hyötykäytöstä ja sijoittamisesta*. Teknisen viraston kunnallisteknisen osaston kaavoitusosasto. 2009. Saatavissa: [http://w3.kuopio.fi/attachments.nsf/Files/050210100615046/\\$File/ylijaamamaat%20raportti%20liitteet.pdf?OpenElement](http://w3.kuopio.fi/attachments.nsf/Files/050210100615046/$File/ylijaamamaat%20raportti%20liitteet.pdf?OpenElement)

Labelle A, Langevin A, Campbell J.F. 2002. *Sector design for snow removal and disposal in urban areas*. Socio-Economic Planning Sciences. 2002. Vol 36. Nro 3. s.183–202. ISSN: 0038-0121

Laiho, E. 2011. *Lumenkäsittelyn kehittäminen kaupunkioaloissa*. Kandidaatintyö. Aalto yliopisto, Insinööritieteiden korkeakoulu, yhdyskunta- ja ympäristötekniikan laitos. Espoo.

Laine, A. 2006. *Kymijoen vaelluskalojen nousureittien avaamisen kustannusten ja hyötyjen arviointi*. Pro gradu-tutkielma. Helsingin Yliopisto, Taloustieteen laitos, Ympäristöekonomia. Helsinki. s.96

Laki kadun ja eräiden yleisten alueiden kunnossa- ja puhtaanapidosta 31.8.1978/669

Liikenne virasto 2010. *Tien meluesteiden suunnittelu*. Liikenneviraston ohjeita 16/2010. 30.09.2012. Helsinki 2010. ISBN 978-952-255-563-2.

Maankäyttö- ja rakennuslaki 5.2.1999/132

Miljönytta 2009. *Lagradsnögerfjärrkyla*. [Viitattu 26.7.2012] Saatavissa: <http://miljonytta.se/byggnader/lagrad-sno-ger-fjarrkyla/>

Motiva 2011. *Dieslöljy*. [Viitattu 26.7.2012] Saatavissa: [http://www.motiva.fi/liikenne/polttoaineet\\_ajoneuvotekniikka/polttoaineet/dieseloly](http://www.motiva.fi/liikenne/polttoaineet_ajoneuvotekniikka/polttoaineet/dieseloly)

Mustonen, S. (toim.), 1986. *Sovellettu hydrologia*. Mäntän Kirjapaino Oy, Mänttä, s.503

Oulun kaupunki 2011. *Lumen lähi siirto ja läjitys*. Tehtäväkortti. [Viitattu 25.5.2012] Saatavissa: [http://www.oulu.ouka.fi/tekninen/MMK\\_alueurakka/YYP/Liite\\_MMK2\\_Tehtavakortit/Lumen\\_lahisiirto\\_lajitys.pdf](http://www.oulu.ouka.fi/tekninen/MMK_alueurakka/YYP/Liite_MMK2_Tehtavakortit/Lumen_lahisiirto_lajitys.pdf)

Piela, S. 1991. *Kadunsuunnittelu*. TKK Tietekniikka. Otaniemi. s.228. ISBN 951-22-0932-0

Rapal Oy. 2011. *IK12 Katu- ja viheralueiden ylläpidon kustannusvertailu*. Yksikkökustannuslaskelmat tilanteessa 31.12.2010

Reinosdotter, K. 2003. *Local or Cantral Snow Deposits?* Licentiate Thesis. Luleå: Luleå University of Technology, Department of Environmental Engineering. LTU-LIC—03/71—SE ISSN: 1402-1757.

Reinosdotter, K., and Viklander, M., Malmqvist, P.-A. 2003. *Comparison of the effects of using local and central snow deposits: A case study in Luleå*. Water Sci. Technol. 489, 71–79.

Reinosdotter, K. 2007. *Sustainable Snow Handling*. Doctoral Thesis. Luleå: Luleå University of Technology. Department of Civil, Mining and Environmental Engineering. ISSN:1402-1544

Reinosdotter K., Viklander, M. 2006. *Handling of urban snow with regard to snow quality*. Journal of Environmental Engineering. Vol 132. Nro 2. s. 271-278

Salla, A., Nurmi, P. & Riipinen, M. 2012. *Lumen läjityksen ympäristövaikutukset Helsingissä*. Helsingin kaupungin ympäristökeskuksen julkaisuja 3/2012. Helsinki: Kopio Niini Oy. ISBN (pdf) 978-952-272-170-9

Samposalo, S. 2007. *Lumen ominaisuudet taajama-alueilla*. Diplomityö. Teknillinen korkeakoulu, Rakennus- ja ympäristötekniikan osasto. Espoo. 144s.



Semádeni-Davies A.F. 1999. *Snow heterogeneity in Luleå, Sweden*. Urban Water 1 (1999) s. 39-47

Semádeni-Davies, A. & Bengtsson, L. 2000. *Snow and Snowmelt*. Teoksessa: Maksimovic, C (toim.). Urban Drainage in Specific Climates Vol. 2 Urban Drainage in Cold Climates. Pariisi: UNESCO IHP-V Technical Documents in Hydrology No. 40 Vol. 2. s. 41-70.

SEMCOG Southeast Michigan Council of Government. 2007. *Snow Storage and Disposal Techniques*. [Viitattu 25.5.2012]. Saatavilla: [http://www.semcog.org/uploadedFiles/Programs and Projects/Water/Stormwater/Municipal Training/Streets and Parking Lots/Snow%20removal.pdf](http://www.semcog.org/uploadedFiles/Programs_and_Projects/Water/Stormwater/Municipal_Training/Streets_and_Parking_Lots/Snow%20removal.pdf)

Sipilä, K., Kirjavainen, M., Ritola, J., Kivikoski, H. 2001. *Liikenne- ja yleisten alueiden sulanapitojärjestelmät. Energiatalous ja tekninen toteutus*. Kesäkeli-projekti. Espoo 2001. Valtion teknillinen tutkimuskeskus, VTT Tiedotteita 2113. s.75. ISBN 951-38-5917-7 (URL: <http://www.inf.vtt.fi/pdf>).

Simonen, M., Valtonen, J., Sainio S. 2011. *Lumenkuormaa AM 2500 Helsingissä 25.–26.1.2011 Havaintoja ja mittauksia*. Aalto yliopisto. Insinööritieteiden korkeakoulu. Yhdyskunta – ja ympäristötekniikan laitos.

Skogsberg, K., Nordell, B. 2006. *Snow cooling in Sweden*. Teoksessa: The Richard Stockton College of New Jersey *Thermal energy storagen: 2006 EcoStock* [10th International Conference on Thermal Energy Storage]. New Jersey, United States. 31.5-2.6.2006, s.832. Saatavilla: <http://pure.ltu.se/portal/files/342849/paper.pdf>

Skogsberg K., Nordell B. 2001. *The Sundsvall hospital snow storage*. Cold Regions Science and Technology. 2001. Vol 32. s. 63-70. Elsevier Science B.V.

Skogsberg K. 2001. *The Sundsvall Regional Hospital snow cooling plant-Results from the first year of operation*. Cold Regions Science and Technology. 2002. Vol 34. s.135-142. Elsevier Science B.V.

SMHI 1991. *Snö i Sverige, snödjupochvatteninnehåll i snön*. Fakta nr 2. [Viitattu 25.5.2012]. Saatavilla: [http://www.smhi.se/polopoly fs/1.6338!snofakta%5B1%5D.pdf](http://www.smhi.se/polopoly_fs/1.6338!snofakta%5B1%5D.pdf)

Suomen kuntatekniikan yhdistys SKTY. 2006. *Katujen ylläpito*. ISBN 952-9710-11-9. Helsinki.

Suomen kuntatekniikan yhdistys SKTY. 2003. *Katu 2002-katusuunnittelun ja rakentamisen ohjeet*. Gummerus Kirjapaino oy, Jyväskylä 2003. ISBN 952-9710-06-2

Suomen rakennusinsinöörien liitto RIL. 1988. *RIL165-2 Liikenne ja väylät II*. Helsinki 1988. ISBN 951-758-150-5

Tampereen kaupunki 2011. *Selvitys lumenvastaanotosta Tampereella*. Raportti.

Tiehallitus 1991. Tietoa tiensuunnitteluun nro 2. Lumitilan tarve melusteiden, välikais-tojen ym. kohdalla. 29.1.1991.

Tiehallinto, 1999. *Kevyen liikenteen väylien hoito*; Menetelmätieto, TIEL 2230054

Tiehallinto, 2009. *Teiden talvihoito, Laatuvaatimukset*. Moniste 19.1.2009

Tiehallinto, 2001. *Teiden talvihoito, Menetelmätieto, Toteuttamisvaiheen ohjaus*. Hel-sinki. ISBN 951-726-798-3. TIEH 2230006-01

Tilastokeskus 2012. *Väestö*. Tilastot. [Viitattu 25.5.2012]. Saatavilla:  
<http://www.stat.fi/til/vrm.html>

Turun kaupunki 2011a. *Katu- ja viheralueet*. Katujen kunnossapitoluokitus. Juhani Tirkkonen. Turun kaupunki.

Turunen, M. 1991. *Lumitilat yleisillä teillä*. Diplomityö. Tampereen teknillinen korkea-koulu. Rakennustekniikan osasto. Tampere. s.83

Ylhäisi J. 2012 *Paljonko satava lumi kasvattaa lumensyvyyttä?* Ilmastokatsaus Helmi-kuu 2012. 2/2012. s.4-7. ISSN:1239-0291

### **Internetsivustoja**

Artic Machine. 2012. *AM 2500 Lumenkuormaaja*. [Viitattu 12.6.2012]  
<http://www.arcticmachine.fi/tuotteet/lumen-poisto/lumenkuormaajat>

Helsingin kaupunki. 2012. *Hoitoluokitus*. [Viitattu 28.5.2012.]  
<http://www.hel.fi/hki/hkr/fi/Kadut/Hoito/Hoitoluokitus>

Keski-Suomen ELY. 2012. *Lumen vesiarvot (lumikuormat)*. [Viitattu 25.4.2012]  
<http://www.ymparisto.fi/default.asp?node=6393&lan=fi>

Suomen ympäristökeskus 2011. Lumen vesiärvon mittaaminen. [Viitattu 25.4.2012]  
<http://www.ymparisto.fi/default.asp?contentid=391323&lan=en&clan=fi>

Tampereen kaupunki. 2012. Katujen kunnossapitoluokat. [Viitattu 23.8.2012]  
<http://www.tampere.fi/liikennejakadut/katujenkunnossapito/kunnossapitoluokat.html>

Turun kaupunki. 2011b. *Talvikunnossapito on kaupungin ja kiinteistönomistajien yhteinen asia*. [Viitattu 12.6.2012.]  
<http://www.turku.fi/Public/default.aspx?contentid=309813&nodeid=7720>

Turun kaupunki. 2011c. *Lumensijoituspaikat Turussa ovat käytössä*. [Viitattu 12.6.2012.]  
<http://www.turku.fi/Public/default.aspx?contentid=323971&nodeid=11892>

Turun kaupunki 2011d. *Talvihoidon tehtäväkortit*. Turun kaupunki. Kiinteistöliikelaitos.

Turun kaupunki 2007. *Katusuunnitelma*. [Viitattu 12.6.2012.]  
<http://www.turku.fi/public/default.aspx?contentid=22308&nodeid=11893>

Työ – ja elinkeinoministeriö. 2010. *Tilaaaja-tuottaja malli*. [Viitattu 12.6.2012.]  
<http://www.tem.fi/index.phtml?s=1885>

Vantaa 2012a. *Kunnossapitoluokitus*. [Viitattu 25.4.2012] Saatavissa:  
[http://www.vantaa.fi/fi/kadut\\_ja\\_liikenne/usein\\_kysytyt/miksi\\_kaikkia\\_katuja\\_ei\\_aurata\\_heti\\_lumisateen\\_jalkeen](http://www.vantaa.fi/fi/kadut_ja_liikenne/usein_kysytyt/miksi_kaikkia_katuja_ei_aurata_heti_lumisateen_jalkeen)

Vantaa 2012b. *Noin 2000 kuormaa lunta vuorokaudessa lumenkaatopaikoille*. [Viitattu 25.4.2012] Saatavissa:  
[http://www.vantaa.fi/fi/ajankohtaista-arkistot/etusivun\\_arkisto/101/0/noin\\_2000\\_kuormaa\\_lunta\\_viety\\_lumenkaatopaikoille](http://www.vantaa.fi/fi/ajankohtaista-arkistot/etusivun_arkisto/101/0/noin_2000_kuormaa_lunta_viety_lumenkaatopaikoille)

Varsinais-Suomen ELY. 2011. *Yleiskaavoitus*. [Viitattu 25.4.2012] Saatavissa:  
<http://www.ymparisto.fi/default.asp?node=6554&lan=fi>

Vilakone Oy. 2012. *Wille mallisto*. [Viitattu 31.7.2012] Saatavissa:  
[http://www.wille.fi/koneet/fi\\_FI/koneet/](http://www.wille.fi/koneet/fi_FI/koneet/)

Ympäristöministeriö. 2004. *Maakuntakaava*. [Viitattu 12.6.2012] Saatavissa:  
<http://www.ymparisto.fi/download.asp?contentid=23555&lan=fi>

Ympäristöministeriö 2012. *Asemakaava*. [Viitattu 25.4.2012] Saatavissa:  
<http://www.ymparisto.fi/default.asp?node=1117&lan=fi>

## **Tiedonannot**

Alatyppö, V. 2012. Toimistopäällikkö, Helsingin kaupungin rakennusvirasto. PL 1500, 00099 Helsingin kaupunki. Suullinen tiedonanto 17.8.2012.

Bernström, R. 2012. Yhteyspäällikkö, maa- ja metsätalouden sekä kuntien ja kaupunkien sääpalvelut. Ilmatieteenlaitos. Helsinki, PL 503, 00101 Helsinki. Suullinen tiedonanto 2.5.2012.

Palokas, A. 2012. Työnjohtaja, Stara. PL 1660, 00099 Helsingin kaupunki. Suullinen tiedonanto 19.6.2012

Ylhäisi, J. 2012. Tohtorikoulutettava. Helsingin yliopisto, fysiikan laitos. Helsinki, PL 64,00014 Helsingin yliopisto. Sähköpostihaastattelu 23.4.2012.

## Liiteluettelo

- Liite 1. Sektorisuunnittelumenetelmä. 1 sivu.
- Liite 2. Lumen lähisiirtoon soveltuvan kaluston tuotetietoja. 1 sivu.
- Liite 3. Lumisadetilastoja. 1 sivu.
- Liite 4. Talvien jaottelu ja osuudet. 1 sivu.
- Liite 5. Esimerkkikatujen poikkileikkaukset. 3 sivua.
- Liite 6. Lumitaselaskelmat esimerkkikaduille. 13 sivua.
- Liite 7. Lumitaselaskelmien herkkyysanalyysi. 16 sivua.
- Liite 8. Lumenkuljetus ja lumikertymä Oulunkylässä vuosina 1993 – 2011. 4 sivua.
- Liite 9. Katujen lumilogistiikkakustannus- ja CO<sub>2</sub>-laskelmat. 3 sivua.
- Liite 10. Maastohavainnot. 11 sivua.
- Liite 11. Auraus- ja kuljetustarveindeksit talville vuosina 1992 – 2011. 2 sivua
- Liite 12. Lumen sulamisen vaikutus kuljetustarpeeseen. 3 sivua.

# Liite 1. Sektorisuunnittelumenetelmä

Labelle et al.:n (2002.) esittämän sektorisuunnittelun laskentaparametrit ja laskentatavat.

## Päätökseen vaikuttavat muuttujat:

$x_{ij} = 1$ , jos alue  $i$  on kohdennettu sektorille  $j$ , muuten  $x_{ij} = 0$

$y_{jk} = 1$ , jos sektori  $j$  on kohdennettu vastaanottoalueelle  $k$ , muuten  $y_{jk} = 0$

## Toiminnalliset parametrit:

$d_{ik}$  = etäisyys alueelta läjitysalueelle (km)

$l_i$  = alueen katujen pituus (m)

$v_i$  = vuosittainen lumen määrä alueella ( $m^3$ )

$r_j$  = lumen poistoluku sektorilla  $j$  ( $m^3/h$ )

$V_k$  = vuosittainen lumenvastaanottoaikan kapasiteetti ( $m^3/vuosi$ )

$R_k$  = maksimilumenvastaanottoluku lumenvastaanottoaikalla ( $m^3/h$ )

$M$  = alueitten maksimimäärä sektorilla

$t_v$  = kuorma-auton lavakoko ( $m^3$ )

$t_s$  = kuorma-auton nopeus (km/h)

## Kustannusparametrit:

$C_{ik}$  = lumen kuljetuskustannus alueelta  $i$  lumenvastaanotto paikalle  $k$  per kuutio ( $\$/m^3$ )

$CV_k$  = lumen vastaanottoaikan muuttuvat kustannukset (=lumen käsittely) ( $\$/m^3$ )

$CT$  = kuorma-auton kiinteät kustannukset ( $\$/vuosi$ )

Vuosittainen lumen määrä, joka lähetetään lumen vastaanottoalueelle

$$\sum_i \sum_j v_i x_{ij} y_{jk}$$

Lumen kuljetuksesta arviolta aiheutuneet kokonaiskustannukset

$$\sum \sum \sum C_{ik} v_i x_{ij} y_{jk}$$

Kuorma-autojen määrä lasketaan kaavalla

$$N_T = \left\lceil \frac{2dj_{max}}{ts} \times \frac{r_j}{t_v} \right\rceil + ,$$

jossa  $d_{jmax}$  on maksimietäisyys alueelta sektorissa  $j$  sen määrättyyn läjityspaikkaan,

$d_{jmax} = \max\{d_{ik} x_{ij} y_{jk}\}$  ja  $\tau$  kuvaa lisäkuorma-autojen määrää sektorilla.

Vuosittaiset kokonaiskustannukset ( $\$/vuosi$ ) lasketaan kaavalla

$$TC = \sum_i \sum_j \sum_k C_{ik} v_i x_{ij} y_{jk} + \sum_k CV_k \sum_i \sum_j v_i x_{ij} y_{jk} + CT \sum \left( \left\lceil \frac{2dj_{max}}{ts} \times \max\{d x y\} \right\rceil + \tau \right)$$

Vuosittaisiin kokonaiskustannuksiin kuuluvat siis lumen kuljetuskustannukset sektoreilta lumen vastaanotto paikoille, lumen vastaanottoaikojen ylläpidosta aiheutuvat muuttuvat kustannukset sekä kuorma-autojen kiinteät kustannukset. Laskelmien lisäksi seuraavat raja-arvot ja ehdot tulee olla voimassa:

- 1)  $\sum_j x_{ij} = 1$  kaikille alueille  $i$
- 2)  $x_{ij} \leq \sum_k y_{jk}$  kaikille alueille  $i$  ja sektoreille  $j$
- 3)  $\sum_i x_{ij} \leq M$  kaikille sektorille  $j$
- 4)  $\sum_i \sum_j v_i x_{ij} y_{jk} \leq V_k$  kaikille vastaanottoalueille  $k$
- 5)  $\sum_i \sum_j r_j x_{ij} y_{jk} \leq R_k$  kaikille vastaanottoalueille  $k$
- 6) Jokaisen sektorin tulee olla muodostettu jatkuvista alueista
- 7)  $x_{ij}, y_{jk} \in \{0,1\}$  kaikille  $i, j, k$

Ehdot (1) varmistavat, että jokainen alue kuuluu johonkin sektoriin ja siten alueen sektorin toimenpiteisiin (2) eli jos jotkin alueet kuuluvat sektoriin  $j$ , tulee sektorin  $j$  kuulua jollekin vastaanotto paikalle. Sektoreiden koko ei voi olla suurempi kuin alueiden maksimikoko (3). Siten varmistetaan riittävä palvelutaso. Lisäksi sektorien kohdentamista vastaanottoalueille rajoittavat vastaanottoaikojen tunti- ja vuosikapasiteettikyky (4)(5).

## Liite 2. Lumen lähisiirtoon soveltuvan kaluston tuotetietoja

### Wille- työkoneiden ominaisuudet

				
	<a href="#">355B</a>	<a href="#">455B</a>	<a href="#">655C</a>	<a href="#">855C</a>
Moottori	CAT C2.2	Detroit D754TE3	CAT 4.4	CAT 4.4
Teho, kW/hv	36 / 48	55 / 74	97 / 130	97 / 130
Nostovoima ylä-/ala-asento, kN	7,4 / 17,7	11,6 / 24,7	25,2 / 35,3	40,9 / 65,8
Nostokorkeus, mm	2735	2800	3380	3740
Työpumpun tuotto, l/min	54 + 36	73 + 49	97 + 55	145 + 55
Renkaat	31x11,5-15	33x12,5-15	420 / 65 R24	500 / 60 R22,5
Pituus, mm	3824	4120	5000	5400
Leveys, mm	1420	1655	1920	2150
Korkeus, mm	2080	2175	2330	2480
Akseliväli, mm	1705	1940	2290	2575
Ulompi kääntösäde, mm	3290	3500	4275	4800
Paino, kg	2630	3180	5360	6480
Ajonopeus, km/h	0-35	0-37	0-20 0-40	0-20 0-40

### AM 2500 lumenkuormaaja

Tekniset tiedot	AM 2500 lumenkuormaaja
Paino	3100 kg
Työleveys	2650 mm
Kapasiteetti	n. 30 m <sup>3</sup> /min
Leveys	2650 mm
Korkeus	3970 mm
Pituus	2880 mm
Heittoputken kääntökulma	200°
Erillinen käyttömoottori, teho	138 kW
Voimansiirto	Keskipakokytkin, kiilahihnaplaneettavaihte
Peruskoneen kaatokuorma (min)	7000 kg

## Liite 3. Lumisadetilastoja

Talvi	Sade (mm)		Lumensyvyys (cm)		Lumikertymä (cm)	
	Helsinki	Jyväskylä	Helsinki	Jyväskylä	Helsinki	Jyväskylä
1980-1981	159	243	55	95	165	156
1981-1982	177	192	67	70	150	137
1982-1983	42	135	18	38	84	105
1983-1984	142	244	53	88	101	139
1984-1985	111	163	41	54	99	93
1985-1986	133	149	43	67	104	119
1986-1987	109	130	42	52	74	93
1987-1988	130	248	41	94	115	184
1988-1989	83	194	34	48	84	144
1989-1990	159	248	41	51	122	167
1990-1991	64	128	18	41	73	127
1991-1992	62	168	26	58	93	157
1992-1993	99	203	24	50	80	165
1993-1994	114	189	28	70	95	132
1994-1995	81	164	22	56	112	163
1995-1996	115	129	44	62	110	103
1996-1997	100	168	42	23	81	121
1997-1998	117	191	19	40	103	141
1998-1999	201	142	60	48	179	109
1999-2000	97	203	22	60	99	149
2000-2001	92	150	33	37	94	117
2001-2002	161	243	41	82	148	164
2002-2003	94	139	29	59	93	115
2003-2004	161	170	46	68	137	139
2004-2005	116	153	33	55	127	113
2005-2006	83	152	31	67	94	122
2006-2007	43	80	19	34	54	92
2007-2008	64	139	18	35	61	122
2008-2009	108	107	33	34	98	128
2009-2010	132	129	73	61	140	124
2010-2011	196	151	67	71	158	147
Keskiarvo	114	169	38	57	107	132

Lumikertymä on positiivisten lumen syvyyden muutosten summa.



## Liite 4. Talvien jaottelu ja osuudet

Runsaslumiset talvet		Normaalilumiset talvet		Vähälumiset talvet	
Helsinki	Jyväskylä	Helsinki	Jyväskylä	Helsinki	Jyväskylä
1980-1981	1980-1981	1984-1985	1984-1985	1982-1983	1982-1983
1981-1982	1981-1982	1985-1986	1985-1986	1990-1991	1990-1991
1983-1984	1983-1984	1986-1987	1986-1987	1991-1992	1996-1997
1998-1999	1987-1988	1987-1988	1988-1989	1992-1993	1997-1998
2009-2010	1993-1994	1988-1989	1989-1990	1994-1995	2000-2001
2010-2011	2001-2002	1989-1990	1991-1992	1997-1998	2006-2007
	2003-2004	1993-1993	1992-1993	1999-2000	2007-2008
	2010-2011	1995-1996	1994-1995	2006-2007	2008-2009
		1996-1997	1995-1996	2007-2008	
		2000-2001	1998-1999		
		2001-2002	1999-2000		
		2002-2003	2002-2003		
		2003-2004	2004-2005		
		2004-2005	2005-2006		
		2005-2006	2009-2010		
		2008-2009			
6 kpl	8 kpl	16 kpl	15 kpl	9 kpl	8 kpl
19 %	26 %	52 %	48 %	29 %	26 %

## Liite 5. Esimerkkikatujen poikkileikkaukset ja valokuvat

### Kyläkunnantie, asuinkatu, Pakila

Lumitila 1,6m	Jalkakäytävä 2,0 m	Ajorata 7,0 m	Lumitila 0,8 m
---------------	-----------------------	---------------	-------------------



### Pakilantie, kokoojakatu, Pakila

Lumitila 1,6 m	KLV 3,7 m	Ajorata 13,3 m	KLV 4,7 m	Lumitila 2,2 m
-------------------	-----------	----------------	-----------	----------------



### Simo Klementinpojantie, asuinkatu, Viikki

Jalkakäytävä 2,2 m	Lumitila 2,0 m	Ajorata 3,5 m	Lumitila 1 m
-----------------------	----------------	---------------	--------------



### Tilanhoitajankaari, kokoojakatu, Viikki

Lumitila 0,9 m	KLV 3,5 m	Välikaista 3,0m	Ajorata 7 m	Välikaista 3,0m	KLV 4,5 m	Lumitila 0,9m
-------------------	-----------	--------------------	-------------	--------------------	--------------	------------------



Lukkotie, asuinkatu, Jyväskylä

Lumitila 3,25m	Ajorata 5,5 m	Lumitila 3,25 m
----------------	---------------	-----------------



Teljintie, asuinkatu, Jyväskylä

Lumitila 2,25m	Ajorata 5,5 m	Lumitila 2,25 m
----------------	---------------	-----------------



Tertunhaka, asuinkatu, Jyväskylä

Lumitila 3,5m	Ajorata 5,0 m	Lumitila 3,5 m
---------------	---------------	----------------



Välitie, kokoojaku, Jyväskylä

Lumitila 1,5 m	KLV 3,0 m	Ajorata 6,0 m	Lumitila 1,5 m
----------------	-----------	---------------	----------------



## Valokuvat esimerkkikaduista



*Kyläkunnantie*



*Pakilantie*



*Simo Klemetinpojan tie*



*Tilanhoitajankaari*



*Lukkotie (kuva: googlemaps)*



*Teljintie (kuva:googlemaps)*



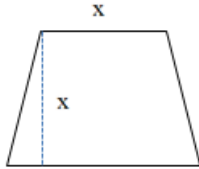
*Tertunhaka (kuva: googlemaps)*



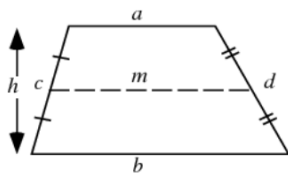
*Välitie (kuva: Lasse Tienvieri)*

## Liite 6. Lumitaselaskelmat esimerkkikaduille

Lumivallin on odotettu muodostuvan puolisuunnikkaan malliin, jossa vallin suunnikkaan yläreuna on yhtä suuri kuin lumivallin korkeus.



Lumivallin poikkileikkauksen pinta-ala on siis puolisuunnikkaan pinta-ala. Puolisuunnikkaan pinta-ala lasketaan yhdensuuntaisten sivujen pituuksien ja puolisuunnikkaan korkeuden avulla.



Eli pinta-ala  $A = \frac{(a+b) \cdot h}{2}$

Mikäli lumitilan leveys on pienempi kuin lumitilan maksimikorkeus (0,6 tai 1,0 m), lasketaan poikkileikkauspinta-ala neliönä.

$$\text{Tiivistymisaste} = 400\% = 4$$

$$\text{Lumimäärä} = \text{pinta-ala (m}^2\text{)} \cdot \text{lumikertymä (m)} / \text{tiivistymisaste}$$

$$\text{Lumiylijäämä} = \text{lumimäärä (m}^3\text{)} - \text{teoreettinen lumitilojen tilavuus (m}^3\text{)}$$

$$\text{Lumitase} = \text{lumiylijäämä (m}^3\text{)} / \text{aurattavan alueen pinta-ala (m}^2\text{)}$$

$$\text{Lumikertymä, joka täyttää lumitilat} = \text{lumitilojen teoreettinen yhteenlaskettu tilavuus (m}^3\text{)} / \text{katualueen ala (m}^2\text{)} \cdot \text{tiivistymisaste}$$

## Kyläkunnantie, asuntokatu

Kadunpituus (m)	Kadun pituus liittymät huomioiden (m)	Ajoradan leveys (m)	Jalkakäytävän leveys (m)	Lumitila oikealla (m)	Lumitila vasemmalla (m)
450	380	7	2	0,8	1,6

### Teoreettinen lumitilan tilavuus

#### Lumivalli oikealla

	Vallin maksimikorkeus (m)	
	0,6	1,0
Vallin poikkileikkaus pinta-ala (m <sup>2</sup> )	<u>0,42 m<sup>2</sup></u>	<u>0,8 m<sup>2</sup></u>
Lumivallin teoreettinen tilavuus (m <sup>3</sup> )	<u>160 m<sup>3</sup></u>	<u>304 m<sup>3</sup></u>

#### Lumivalli vasemmalla

	Vallin maksimikorkeus (m)	
	0,6	1,0
Vallin poikkileikkaus pinta-ala (m <sup>2</sup> )	<u>0,66 m<sup>2</sup></u>	<u>1,3 m<sup>2</sup></u>
Lumivallin teoreettinen tilavuus (m <sup>3</sup> )	<u>251 m<sup>3</sup></u>	<u>494 m<sup>3</sup></u>

### Teoreettinen tilavuus yhteensä

Vallin maksimikorkeus 0,6 m	Vallin maksimikorkeus 1,0 m
160 m <sup>3</sup> + 251 m <sup>3</sup> = <b>410 m<sup>3</sup></b>	304 m <sup>3</sup> + 494 m <sup>3</sup> = <b>798 m<sup>3</sup></b>

### Kadulle tuleva lumimäärä ja ylijäämä

Pinta-ala, johon lunta sataa

$$= (\text{ajoradan leveys} + \text{jalkakäytävän leveys} + \text{lumitilat}) * \text{kadun pituus} = 5130 \text{ m}^2$$

#### Runsasluminen talvi

$$\text{Lumimäärä} = 5130 \text{ m}^2 * 1,45 \text{ m} / 4 = 1860 \text{ m}^3$$

#### Lumiylijäämä

Vallin maksimikorkeus 0,6 m	Vallin maksimikorkeus 1,0 m	Keskiarvo
= 1860 m <sup>3</sup> - 410 m <sup>3</sup> = <b>1449 m<sup>3</sup></b>	= 1860 m <sup>3</sup> - 798 m <sup>3</sup> = <b>1062 m<sup>3</sup></b>	= <b>1255 m<sup>3</sup></b>

#### Normaaliluminen talvi

$$\text{Lumimäärä} = 5130 \text{ m}^2 * 1,05 \text{ m} / 4 = 1347 \text{ m}^3$$

#### Lumiylijäämä

Vallin maksimikorkeus 0,6 m	Vallin maksimikorkeus 1,0 m	Keskiarvo
= 1347 m <sup>3</sup> - 410 m <sup>3</sup> = <b>936 m<sup>3</sup></b>	= 1347 m <sup>3</sup> - 798 m <sup>3</sup> = <b>549 m<sup>3</sup></b>	= <b>742 m<sup>3</sup></b>

#### Vähäluminen talvi

$$\text{Lumimäärä} = 5130 \text{ m}^2 * 0,92 \text{ m} / 4 = 1180 \text{ m}^3$$



## Lumiylijäämä

Vallin maksimikorkeus 0,6 m	Vallin maksimikorkeus 1,0 m	Keskiarvo
$= 1180 \text{ m}^3 - 410 \text{ m}^3 = \mathbf{770 \text{ m}^3}$	$= 1180 \text{ m}^3 - 798 \text{ m}^3 = \mathbf{382 \text{ m}^3}$	$= \mathbf{576 \text{ m}^3}$

## Lumitase

Aurattavan alueen pinta-ala = (ajoradan leveys + jalkakäytävän leveys) \* kadun pituus =  $4050 \text{ m}^2$

Lumitase = lumiylijäämä / aurattavan alueen pinta-ala

Lumiylijäämän arvo on keskiarvo.

Runsasluminen talvi	$= 1255 / 4050$	0,31
Normaaliluminen talvi	$= 742 / 4050$	0,18
Vähäluminen talvi	$= 576 / 4050$	0,14

## Lumikertymä, joka täyttää lumitilat

Lumikertymä, joka täyttää lumitilat = lumitilojen teoreettinen yhteenlaskettu tilavuus ( $\text{m}^3$ ) / katualueen ala ( $\text{m}^2$ ) \* tiivistymisaste

Vallin maksimikorkeus 0,6 m	Vallin maksimikorkeus 1,0 m
$= 410 \text{ m}^3 / 5130 \text{ m}^2 * 4 = 0,32$	$= 798 \text{ m}^3 / 5130 \text{ m}^2 * 4 = 0,62$
<b>32 cm</b>	<b>62 cm</b>

## Pakilantie, kokoojaku

Kadunpituus (m)	Kadun pituus liittymät huomioiden (m)	Ajoradan leveys (m)	Jalkakäytävän leveys (m)	Lumitila oikealla (m)	Lumitila vasemmalla (m)
350	333	13,3	4,7 + 3,7	2,2	1,6

## Teoreettinen lumitilan tilavuus

## Lumivalli oikealla

	Vallin maksimikorkeus (m)	
	0,6	1,0
Vallin poikkileikkaus pinta-ala ( $\text{m}^2$ )	<u>0,84 <math>\text{m}^2</math></u>	<u>1,6 <math>\text{m}^2</math></u>
Lumivallin teoreettinen tilavuus ( $\text{m}^3$ )	<u>280 <math>\text{m}^3</math></u>	<u>533 <math>\text{m}^3</math></u>

## Lumivalli vasemmalla

	Vallin maksimikorkeus (m)	
	0,6	1,0
Vallin poikkileikkaus pinta-ala ( $\text{m}^2$ )	<u>0,66 <math>\text{m}^2</math></u>	<u>1,3 <math>\text{m}^2</math></u>
Lumivallin teoreettinen tilavuus ( $\text{m}^3$ )	<u>220 <math>\text{m}^3</math></u>	<u>433 <math>\text{m}^3</math></u>

## Teoreettinen tilavuus yhteensä

Vallin maksimikorkeus 0,6 m	Vallin maksimikorkeus 1,0 m
$280 \text{ m}^3 + 220 \text{ m}^3 = \mathbf{500 \text{ m}^3}$	$533 \text{ m}^3 + 433 \text{ m}^3 = \mathbf{966 \text{ m}^3}$

**Kadulle tuleva lumimäärä ja ylijäämä**

Pinta-ala, johon lunta sataa

$$= (\text{ajoradan leveys} + \text{jalkakäytävän leveys} + \text{lumitilat}) * \text{kadun pituus} = 8925 \text{ m}^2$$

Runsasluminen talvi

$$\text{Lumimäärä} = 8925 \text{ m}^2 * 1,45 \text{ m} / 4 = 3235 \text{ m}^3$$

Lumiylijäämä

Vallin maksimikorkeus 0,6 m	Vallin maksimikorkeus 1,0 m	Keskiarvo
$= 3235 \text{ m}^3 - 500 \text{ m}^3 = \mathbf{2735 \text{ m}^3}$	$= 3235 \text{ m}^3 - 966 \text{ m}^3 = \mathbf{2270 \text{ m}^3}$	$= \mathbf{2503 \text{ m}^3}$

Normaaliluminen talvi

$$\text{Lumimäärä} = 8925 \text{ m}^2 * 1,05 \text{ m} / 4 = 2343 \text{ m}^3$$

Lumiylijäämä

Vallin maksimikorkeus 0,6 m	Vallin maksimikorkeus 1,0 m	Keskiarvo
$= 2343 \text{ m}^3 - 500 \text{ m}^3 = \mathbf{1843 \text{ m}^3}$	$= 2343 \text{ m}^3 - 966 \text{ m}^3 = \mathbf{1377 \text{ m}^3}$	$= \mathbf{1610 \text{ m}^3}$

Vähäluminen talvi

$$\text{Lumimäärä} = 8925 \text{ m}^2 * 0,92 \text{ m} / 4 = 2053 \text{ m}^3$$

Lumiylijäämä

Vallin maksimikorkeus 0,6 m	Vallin maksimikorkeus 1,0 m	Keskiarvo
$= 2053 \text{ m}^3 - 500 \text{ m}^3 = \mathbf{1553 \text{ m}^3}$	$= 2053 \text{ m}^3 - 966 \text{ m}^3 = \mathbf{1087 \text{ m}^3}$	$= \mathbf{1320 \text{ m}^3}$

**Lumitase**

$$\text{Aurattavan alueen pinta-ala} = (\text{ajoradan leveys} + \text{jalkakäytävän leveys}) * \text{kadun pituus} = 7595 \text{ m}^2$$

Lumitase = lumiylijäämä / aurattavan alueen pinta-ala

Lumiylijäämän arvo on keskiarvo.

Runsasluminen talvi	$= 2503 / 7595$	0,33
Normaaliluminen talvi	$= 1610 / 7595$	0,21
Vähäluminen talvi	$= 1320 / 7595$	0,17

**Lumikertymä, joka täyttää lumitilat**

Lumikertymä, joka täyttää lumitilat = lumitilojen teoreettinen yhteenlaskettu tilavuus ( $\text{m}^3$ ) / katualueen ala ( $\text{m}^2$ ) \* tiivistymisaste

Vallin maksimikorkeus 0,6 m	Vallin maksimikorkeus 1,0 m
$= 500 \text{ m}^3 / 8925 \text{ m}^2 * 4 = 0,22$	$= 966 \text{ m}^3 / 8925 \text{ m}^2 * 4 = 0,43$
<b>22 cm</b>	<b>43 cm</b>



## Simo Klemetinpojan tie, kokoojakatu

Kadunpituus (m)	Kadun pituus liittymät huomioiden (m)	Ajoradan leveys (m)	Jalkakäytävän leveys (m)	Lumitila oikealla (m)	Lumitila vasemmalla (m)
630	630	3,5	2,2	1,0	2,0

### Teoreettinen lumitilan tilavuus

#### Lumivalli oikealla

	Vallin maksimikorkeus (m)	
	0,6	1,0
Vallin poikkileikkaus pinta-ala (m <sup>2</sup> )	0,48 m <sup>2</sup>	1,0 m <sup>2</sup>
Lumivallin teoreettinen tilavuus (m <sup>3</sup> )	302 m <sup>3</sup>	630 m <sup>3</sup>

#### Lumivalli vasemmalla

	Vallin maksimikorkeus (m)	
	0,6	1,0
Vallin poikkileikkaus pinta-ala (m <sup>2</sup> )	0,78 m <sup>2</sup>	1,5 m <sup>2</sup>
Lumivallin teoreettinen tilavuus (m <sup>3</sup> )	491 m <sup>3</sup>	495 m <sup>3</sup>

### Teoreettinen tilavuus yhteensä

Vallin maksimikorkeus 0,6 m	Vallin maksimikorkeus 1,0 m
302 m <sup>3</sup> + 491 m <sup>3</sup> = <b>794 m<sup>3</sup></b>	630 m <sup>3</sup> + 495 m <sup>3</sup> = <b>1575 m<sup>3</sup></b>

### Kadulle tuleva lumimäärä ja ylijäämä

Pinta-ala, johon lunta sataa

$$= (\text{ajoradan leveys} + \text{jalkakäytävän leveys} + \text{lumitilat}) * \text{kadun pituus} = 5481 \text{ m}^2$$

#### Runsasluminen talvi

$$\text{Lumimäärä} = 5481 \text{ m}^2 * 1,45 \text{ m} / 4 = 1987 \text{ m}^3$$

#### Lumiylijäämä

Vallin maksimikorkeus 0,6 m	Vallin maksimikorkeus 1,0 m	Keskiarvo
= 1987 m <sup>3</sup> - 794 m <sup>3</sup> = <b>1193 m<sup>3</sup></b>	= 1987 m <sup>3</sup> - 1575 m <sup>3</sup> = <b>412 m<sup>3</sup></b>	= <b>802 m<sup>3</sup></b>

#### Normaaliluminen talvi

$$\text{Lumimäärä} = 5481 \text{ m}^2 * 1,05 \text{ m} / 4 = 1439 \text{ m}^3$$

#### Lumiylijäämä

Vallin maksimikorkeus 0,6 m	Vallin maksimikorkeus 1,0 m	Keskiarvo
= 1439 m <sup>3</sup> - 794 m <sup>3</sup> = <b>645 m<sup>3</sup></b>	= 1439 m <sup>3</sup> - 1575 m <sup>3</sup> = <b>0 m<sup>3</sup></b>	= <b>322 m<sup>3</sup></b>

#### Vähäluminen talvi

$$\text{Lumimäärä} = 5481 \text{ m}^2 * 0,92 \text{ m} / 4 = 1261 \text{ m}^3$$

## Lumiylijäämä

Vallin maksimikorkeus 0,6 m	Vallin maksimikorkeus 1,0 m	Keskiarvo
= $1261 \text{ m}^3 - 794 \text{ m}^3 = 467 \text{ m}^3$	= $1261 \text{ m}^3 - 1575 \text{ m}^3 = 0 \text{ m}^3$	= $233 \text{ m}^3$

## Lumitase

Aurattavan alueen pinta-ala = (ajoradan leveys + jalkakäytävän leveys) \* kadun pituus =  $3591 \text{ m}^2$

Lumitase = lumiylijäämä / aurattavan alueen pinta-ala

Lumiylijäämän arvo on keskiarvo.

Runsasluminen talvi	= $802 / 3591$	0,22
Normaaliluminen talvi	= $322 / 3591$	0,09
Vähäluminen talvi	= $233 / 3591$	0,06

## Lumikertymä, joka täyttää lumitilat

Lumikertymä, joka täyttää lumitilat = lumitilojen teoreettinen yhteenlaskettu tilavuus ( $\text{m}^3$ ) / katualueen ala ( $\text{m}^2$ ) \* tiivistymisaste

Vallin maksimikorkeus 0,6 m	Vallin maksimikorkeus 1,0 m
= $794 \text{ m}^3 / 5481 \text{ m}^2 * 4 = 0,58$	= $1575 \text{ m}^3 / 5481 \text{ m}^2 * 4 = 1,15$
<b>58 cm</b>	<b>1,15 cm</b>

## Tilanhoitajankaari, kokoojakatu

Kadunpituus (m)	Kadunpituus liittymät ja p-paikat huomioiden (m)	Ajoradan leveys (m)	Jalkakäytävän leveys (m)
513	411	13,3	3,5 + 4,5

Lumitila oikealla (m) 1	Lumitila vasemmalla (m) 1	Lumitila oikealla (m) 2	Lumitila vasemmalla (m) 2
3,0	3,0	0,9	0,9

## Teoreettinen lumitilan tilavuus

## Lumivalli oikealla 1

	Vallin maksimikorkeus (m)	
	0,6	1,0
Vallin poikkileikkaus pinta-ala ( $\text{m}^2$ )	<u>1,08 <math>\text{m}^2</math></u>	<u>2,00 <math>\text{m}^2</math></u>
Lumivallin teoreettinen tilavuus ( $\text{m}^3$ )	<u>444 <math>\text{m}^3</math></u>	<u>823 <math>\text{m}^3</math></u>

## Lumivalli vasemmalla 1

	Vallin maksimikorkeus (m)	
	0,6	1,0
Vallin poikkileikkaus pinta-ala ( $\text{m}^2$ )	<u>1,08 <math>\text{m}^2</math></u>	<u>2,00 <math>\text{m}^2</math></u>
Lumivallin teoreettinen tilavuus ( $\text{m}^3$ )	<u>444 <math>\text{m}^3</math></u>	<u>823 <math>\text{m}^3</math></u>

Lumivalli oikealla 2

	Vallin maksimikorkeus (m)	
	0,6	1,0
Vallin poikkileikkaus pinta-ala (m <sup>2</sup> )	<u>0,45 m<sup>2</sup></u>	<u>0,90 m<sup>2</sup></u>
Lumivallin teoreettinen tilavuus (m <sup>3</sup> )	<u>185 m<sup>3</sup></u>	<u>370 m<sup>3</sup></u>

Lumivalli vasemmalla 2

	Vallin maksimikorkeus (m)	
	0,6	1,0
Vallin poikkileikkaus pinta-ala (m <sup>2</sup> )	<u>0,45 m<sup>2</sup></u>	<u>0,90 m<sup>2</sup></u>
Lumivallin teoreettinen tilavuus (m <sup>3</sup> )	<u>185 m<sup>3</sup></u>	<u>370 m<sup>3</sup></u>

Teoreettinen tilavuus yhteensä

Vallin maksimikorkeus 0,6 m	Vallin maksimikorkeus 1,0 m
$2 \cdot 444 \text{ m}^3 + 2 \cdot 185 \text{ m}^3 = \mathbf{1258 \text{ m}^3}$	$2 \cdot 823 \text{ m}^3 + 2 \cdot 370 \text{ m}^3 = \mathbf{2385 \text{ m}^3}$

**Kadulle tuleva lumimäärä ja ylijäämä**

Pinta-ala, johon lunta sataa = (ajoradan leveys + jalkakäytävän leveys + lumitilat) \* kadun pituus = 11 902 m<sup>2</sup>

Runsasluminen talvi

$$\text{Lumimäärä} = 11\,902 \text{ m}^2 * 1,45 \text{ m} / 4 = 4314 \text{ m}^3$$

## Lumiylijäämä

Vallin maksimikorkeus 0,6 m	Vallin maksimikorkeus 1,0 m	Keskiarvo
$= 4314 \text{ m}^3 - 1258 \text{ m}^3 = \mathbf{3056 \text{ m}^3}$	$= 4314 \text{ m}^3 - 2385 \text{ m}^3 = \mathbf{1929 \text{ m}^3}$	$= \mathbf{2492 \text{ m}^3}$

Normaaliluminen talvi

$$\text{Lumimäärä} = 11\,902 \text{ m}^2 * 1,05 \text{ m} / 4 = 3124 \text{ m}^3$$

## Lumiylijäämä

Vallin maksimikorkeus 0,6 m	Vallin maksimikorkeus 1,0 m	Keskiarvo
$= 3124 \text{ m}^3 - 1258 \text{ m}^3 = \mathbf{1866 \text{ m}^3}$	$= 3124 \text{ m}^3 - 2385 \text{ m}^3 = \mathbf{738 \text{ m}^3}$	$= \mathbf{1302 \text{ m}^3}$

Vähäluminen talvi

$$\text{Lumimäärä} = 11\,902 \text{ m}^2 * 0,92 \text{ m} / 4 = 2737 \text{ m}^3$$

## Lumiylijäämä

Vallin maksimikorkeus 0,6 m	Vallin maksimikorkeus 1,0 m	Keskiarvo
$= 2737 \text{ m}^3 - 1258 \text{ m}^3 = \mathbf{1479 \text{ m}^3}$	$= 2737 \text{ m}^3 - 2385 \text{ m}^3 = \mathbf{352 \text{ m}^3}$	$= \mathbf{739 \text{ m}^3}$

**Lumitase**

Aurattavan alueen pinta-ala = (ajoradan leveys + jalkakäytävän leveys + parkkipaikat) \* kadun pituus = 8373 m<sup>2</sup>

Lumitase = lumiylijäämä / aurattavan alueen pinta-ala

Lumiylijäämän arvo on keskiarvo.

Runsasluminen talvi	$= 2492 / 8373$	0,30
Normaaliluminen talvi	$= 1302 / 8373$	0,16
Vähäluminen talvi	$= 739 / 8373$	0,09

**Lumikertymä, joka täyttää lumitilat**

Lumikertymä, joka täyttää lumitilat = lumitilojen teoreettinen yhteenlaskettu tilavuus (m<sup>3</sup>) / katualueen ala (m<sup>2</sup>) \* tiivistymisaste

Vallin maksimikorkeus 0,6 m	Vallin maksimikorkeus 1,0 m
= 1258 m <sup>3</sup> / 11 902 m <sup>2</sup> * 4 = 0,42	= 2385 m <sup>3</sup> / 11 902 m <sup>2</sup> * 4 = 0,80
<b>42 cm</b>	<b>80 cm</b>

**Lukkotie, asuntokatu**

Kadunpituus (m)	Kadun pituus liittymät huomioiden (m)	Ajoradan leveys (m)	Jalkakäytävän leveys (m)	Lumitila oikealla (m)	Lumitila vasemmalla (m)
181	132	5,5	-	3,25	3,25

**Teoreettinen lumitilan tilavuus**Lumivalli oikealla ja vasemmalla

	Vallin maksimikorkeus (m)	
	0,6	1,0
Vallin poikkileikkaus pinta-ala (m <sup>2</sup> )	<u>1,16 m<sup>2</sup></u>	<u>2,13 m<sup>2</sup></u>
Lumivallin teoreettinen tilavuus (m <sup>3</sup> )	<u>152 m<sup>3</sup></u>	<u>281 m<sup>3</sup></u>

Teoreettinen tilavuus yhteensä

Vallin maksimikorkeus 0,6 m	Vallin maksimikorkeus 1,0 m
152 m <sup>3</sup> + 152 m <sup>3</sup> = <b>304 m<sup>3</sup></b>	281 m <sup>3</sup> + 281 m <sup>3</sup> = <b>562 m<sup>3</sup></b>

**Kadulle tuleva lumimäärä ja ylijäämä**

Pinta-ala, johon lunta sataa = (ajoradan leveys + jalkakäytävän leveys + lumitilat) \* kadun pituus = 2172 m<sup>2</sup>

Runsasluminen talvi

$$\text{Lumimäärä} = 2172 \text{ m}^2 * 1,50 \text{ m} / 4 = 815 \text{ m}^3$$

## Lumiylijäämä

Vallin maksimikorkeus 0,6 m	Vallin maksimikorkeus 1,0 m	Keskiarvo
= 815 m <sup>3</sup> - 304 m <sup>3</sup> = <b>510 m<sup>3</sup></b>	= 815 m <sup>3</sup> - 562 m <sup>3</sup> = <b>254 m<sup>3</sup></b>	= <b>382 m<sup>3</sup></b>

Normaaliluminen talvi

$$\text{Lumimäärä} = 2172 \text{ m}^2 * 1,29 \text{ m} / 4 = 700 \text{ m}^3$$

## Lumiylijäämä

Vallin maksimikorkeus 0,6 m	Vallin maksimikorkeus 1,0 m	Keskiarvo
= 700 m <sup>3</sup> - 304 m <sup>3</sup> = <b>396 m<sup>3</sup></b>	= 700 m <sup>3</sup> - 562 m <sup>3</sup> = <b>139 m<sup>3</sup></b>	= <b>268 m<sup>3</sup></b>

Vähäluminen talvi

$$\text{Lumimäärä} = 2172 \text{ m}^2 * 1,19 \text{ m} / 4 = 646 \text{ m}^3$$

## Lumiylijäämä

Vallin maksimikorkeus 0,6 m	Vallin maksimikorkeus 1,0 m	Keskiarvo
= $646 \text{ m}^3 - 304 \text{ m}^3 = \mathbf{341 \text{ m}^3}$	= $646 \text{ m}^3 - 562 \text{ m}^3 = \mathbf{85 \text{ m}^3}$	= $\mathbf{213 \text{ m}^3}$

**Lumitase**

Aurattavan alueen pinta-ala = ajoradan leveys\* kadun pituus =  $996 \text{ m}^2$

Lumitase = lumiylijäämä / aurattavan alueen pinta-ala

Lumiylijäämän arvo on keskiarvo.

Runsasluminen talvi	= $382 / 996$	0,38
Normaaliluminen talvi	= $268 / 996$	0,27
Vähäluminen talvi	= $213 / 996$	0,21

**Lumikertymä, joka täyttää lumitilat**

Lumikertymä, joka täyttää lumitilat = lumitilojen teoreettinen yhteenlaskettu tilavuus ( $\text{m}^3$ ) / katualueen ala ( $\text{m}^2$ ) \* tiivistymisaste

Vallin maksimikorkeus 0,6 m	Vallin maksimikorkeus 1,0 m
= $304 \text{ m}^3 / 2172 \text{ m}^2 * 4 = 0,56$	= $562 \text{ m}^3 / 2172 \text{ m}^2 * 4 = 1,03$
<b>56 cm</b>	<b>103 cm</b>

**Teljintie, asuntokatu**

Kadunpituus (m)	Kadun pituus liittymät huomioiden (m)	Ajoradan leveys (m)	Jalkakäytävän leveys (m)	Lumitila oikealla (m)	Lumitila vasemmalla (m)
536	403	5,5	-	2,25	2,25

**Teoreettinen lumitilan tilavuus**Lumivalli oikealla ja vasemmalla

	Vallin maksimikorkeus (m)	
	0,6	1,0
Vallin poikkileikkaus pinta-ala ( $\text{m}^2$ )	<u><math>0,86 \text{ m}^2</math></u>	<u><math>1,63 \text{ m}^2</math></u>
Lumivallin teoreettinen tilavuus ( $\text{m}^3$ )	<u><math>345 \text{ m}^3</math></u>	<u><math>655 \text{ m}^3</math></u>

Teoreettinen tilavuus yhteensä

Vallin maksimikorkeus 0,6 m	Vallin maksimikorkeus 1,0 m
$345 \text{ m}^3 + 345 \text{ m}^3 = \mathbf{689 \text{ m}^3}$	$655 \text{ m}^3 + 655 \text{ m}^3 = \mathbf{1310 \text{ m}^3}$

**Kadulle tuleva lumimäärä ja ylijäämä**

Pinta-ala, johon lunta sataa = (ajoradan leveys + lumitilat) \* kadun pituus =  $5361 \text{ m}^2$

Runsasluminen talvi

$$\text{Lumimäärä} = 5361 \text{ m}^2 * 1,50 \text{ m} / 4 = 2010 \text{ m}^3$$

Lumiylijäämä

Vallin maksimikorkeus 0,6 m	Vallin maksimikorkeus 1,0 m	Keskiarvo
= $2010 \text{ m}^3 - 689 \text{ m}^3 = \mathbf{1321 \text{ m}^3}$	= $2010 \text{ m}^3 - 1310 \text{ m}^3 = \mathbf{701 \text{ m}^3}$	= $\mathbf{1011 \text{ m}^3}$

Normaaliluminen talvi

$$\text{Lumimäärä} = 5361 \text{ m}^2 * 1,29 \text{ m} / 4 = 1729 \text{ m}^3$$

Lumiylijäämä

Vallin maksimikorkeus 0,6 m	Vallin maksimikorkeus 1,0 m	Keskiarvo
= $1729 \text{ m}^3 - 689 \text{ m}^3 = \mathbf{1040 \text{ m}^3}$	= $1729 \text{ m}^3 - 1310 \text{ m}^3 = \mathbf{419 \text{ m}^3}$	= $\mathbf{729 \text{ m}^3}$

Vähäluminen talvi

$$\text{Lumimäärä} = 5361 \text{ m}^2 * 1,19 \text{ m} / 4 = 1595 \text{ m}^3$$

Lumiylijäämä

Vallin maksimikorkeus 0,6 m	Vallin maksimikorkeus 1,0 m	Keskiarvo
= $1595 \text{ m}^3 - 689 \text{ m}^3 = \mathbf{906 \text{ m}^3}$	= $1595 \text{ m}^3 - 1310 \text{ m}^3 = \mathbf{285 \text{ m}^3}$	= $\mathbf{595 \text{ m}^3}$

**Lumitase**

$$\text{Aurattavan alueen pinta-ala} = \text{ajoradan leveys} * \text{kadun pituus} = 2948 \text{ m}^2$$

$$\text{Lumitase} = \text{lumiylijäämä} / \text{aurattavan alueen pinta-ala}$$

Lumiylijäämän arvo on keskiarvo.

Runsasluminen talvi	= $1011 / 2948$	0,34
Normaaliluminen talvi	= $729 / 2948$	0,25
Vähäluminen talvi	= $595 / 2948$	0,20

**Lumikertymä, joka täyttää lumitilat**

$$\text{Lumikertymä, joka täyttää lumitilat} = \text{lumitilojen teoreettinen yhteenlaskettu tilavuus (m}^3\text{)} / \text{katualueen ala (m}^2\text{)} * \text{tiivistymisaste}$$

Vallin maksimikorkeus 0,6 m	Vallin maksimikorkeus 1,0 m
= $689 \text{ m}^3 / 5361 \text{ m}^2 * 4 = 0,56$	= $1310 \text{ m}^3 / 5361 \text{ m}^2 * 4 = 1,03$
<b>51 cm</b>	<b>98 cm</b>

**Tertunhaka, asuntokatu**

Kadunpituus (m)	Kadun pituus liittymät huomioiden (m)	Ajoradan leveys (m)	Jalkakäytävän leveys (m)	Lumitila oikealla (m)	Lumitila vasemmalla (m)
109	99	5,0	-	3,5	3,5

**Teoreettinen lumitilan tilavuus**Lumivalli oikealla ja vasemmalla

	Vallin maksimikorkeus (m)	
	0,6	1,0
Vallin poikkileikkaus pinta-ala (m <sup>2</sup> )	<u>1,23 m<sup>2</sup></u>	<u>2,25 m<sup>2</sup></u>
Lumivallin teoreettinen tilavuus (m <sup>3</sup> )	<u>122 m<sup>3</sup></u>	<u>223 m<sup>3</sup></u>

Teoreettinen tilavuus yhteensä

Vallin maksimikorkeus 0,6 m	Vallin maksimikorkeus 1,0 m
122 m <sup>3</sup> + 122 m <sup>3</sup> = 244 m <sup>3</sup>	223 m <sup>3</sup> + 223 m <sup>3</sup> = 446 m <sup>3</sup>

**Kadulle tuleva lumimäärä ja ylijäämä**

Pinta-ala, johon lunta sataa = (ajoradan leveys + lumitilat) \* kadun pituus = 1308 m<sup>2</sup>

Runsasluminen talvi

Lumimäärä = 1308 m<sup>2</sup> \* 1,50m / 4 = 491 m<sup>3</sup>

## Lumiylijäämä

Vallin maksimikorkeus 0,6 m	Vallin maksimikorkeus 1,0 m	Keskiarvo
= 491 m <sup>3</sup> - 244m <sup>3</sup> = <b>247 m<sup>3</sup></b>	= 491m <sup>3</sup> - 446 m <sup>3</sup> = <b>45 m<sup>3</sup></b>	= <b>146 m<sup>3</sup></b>

Normaaliluminen talvi

Lumimäärä = 1308 m<sup>2</sup> \* 1,29m / 4 = 422 m<sup>3</sup>

## Lumiylijäämä

Vallin maksimikorkeus 0,6 m	Vallin maksimikorkeus 1,0 m	Keskiarvo
= 422 m <sup>3</sup> - 244m <sup>3</sup> = <b>178 m<sup>3</sup></b>	= 422 m <sup>3</sup> - 446m <sup>3</sup> = <b>0 m<sup>3</sup></b>	= <b>89 m<sup>3</sup></b>

Vähäluminen talvi

Lumimäärä = 1308m<sup>2</sup> \* 1,19 m / 4 = 389 m<sup>3</sup>

## Lumiylijäämä

Vallin maksimikorkeus 0,6 m	Vallin maksimikorkeus 1,0 m	Keskiarvo
= 398 m <sup>3</sup> - 244m <sup>3</sup> = <b>146 m<sup>3</sup></b>	= 389 m <sup>3</sup> - 446 m <sup>3</sup> = <b>0m<sup>3</sup></b>	= <b>73 m<sup>3</sup></b>

**Lumitase**

Aurattavan alueen pinta-ala = ajoradan leveys \* kadun pituus = 545 m<sup>2</sup>

Lumitase = lumiylijäämä / aurattavan alueen pinta-ala

Lumiylijäämän arvo on keskiarvo.

Runsasluminen talvi	= 146 / 545	0,27
Normaaliluminen talvi	= 89 / 545	0,16
Vähäluminen talvi	= 73 / 545	0,13

#### Lumikertymä, joka täyttää lumitilat

Lumikertymä, joka täyttää lumitilat = lumitilojen teoreettinen yhteenlaskettu tilavuus (m<sup>3</sup>) / katualueen ala (m<sup>2</sup>) \* tiivistymisaste

Vallin maksimikorkeus 0,6 m	Vallin maksimikorkeus 1,0 m
= 244 m <sup>3</sup> / 1308 m <sup>2</sup> * 4 = 0,74	= 446 m <sup>3</sup> / 1308 m <sup>2</sup> * 4 = 1,36
<b>74 cm</b>	<b>136 cm</b>

### Välitien alkupää, kokoojakatu

Kadunpituus (m)	Kadun pituus liittymät huomioiden (m)	Ajoradan leveys (m)	Jalkakäytävän leveys (m)	Lumitila oikealla (m)	Lumitila vasemmalla (m)
258	203	6,0	3,0	1,5	1,5

#### Teoreettinen lumitilan tilavuus

Lumivalli oikealla ja vasemmalla

	Vallin maksimikorkeus (m)	
	0,6	1,0
Vallin poikkileikkaus pinta-ala (m <sup>2</sup> )	<u>0,63 m<sup>2</sup></u>	<u>1,25 m<sup>2</sup></u>
Lumivallin teoreettinen tilavuus (m <sup>3</sup> )	<u>128 m<sup>3</sup></u>	<u>254 m<sup>3</sup></u>

Teoreettinen tilavuus yhteensä

Vallin maksimikorkeus 0,6 m	Vallin maksimikorkeus 1,0 m
128 m <sup>3</sup> + 128 m <sup>3</sup> = <b>256 m<sup>3</sup></b>	254 m <sup>3</sup> + 254 m <sup>3</sup> = <b>508 m<sup>3</sup></b>

#### Kadulle tuleva lumimäärä ja ylijäämä

Pinta-ala, johon lunta sataa = (ajoradan leveys + lumitilat) \* kadun pituus = 3096 m<sup>2</sup>

Runsasluminen talvi

Lumimäärä = 3096 m<sup>2</sup> \* 1,50m / 4 = 1161 m<sup>3</sup>

Lumiylijäämä

Vallin maksimikorkeus 0,6 m	Vallin maksimikorkeus 1,0 m	Keskiarvo
= 1161 m <sup>3</sup> - 256m <sup>3</sup> = <b>905 m<sup>3</sup></b>	= 1161m <sup>3</sup> - 508 m <sup>3</sup> = <b>654 m<sup>3</sup></b>	= <b>779 m<sup>3</sup></b>



Normaaliluminen talvi

$$\text{Lumimäärä} = 3096 \text{ m}^2 * 1,29 \text{ m} / 4 = 998 \text{ m}^3$$

## Lumiylijäämä

Vallin maksimikorkeus 0,6 m	Vallin maksimikorkeus 1,0 m	Keskiarvo
= $998 \text{ m}^3 - 256 \text{ m}^3 = 743 \text{ m}^3$	= $998 \text{ m}^3 - 508 \text{ m}^3 = 491 \text{ m}^3$	= <b>617 m<sup>3</sup></b>

Vähäluminen talvi

$$\text{Lumimäärä} = 3096 \text{ m}^2 * 1,19 \text{ m} / 4 = 921 \text{ m}^3$$

## Lumiylijäämä

Vallin maksimikorkeus 0,6 m	Vallin maksimikorkeus 1,0 m	Keskiarvo
= $921 \text{ m}^3 - 256 \text{ m}^3 = 665 \text{ m}^3$	= $921 \text{ m}^3 - 508 \text{ m}^3 = 414 \text{ m}^3$	= <b>539 m<sup>3</sup></b>

**Lumitase**

$$\text{Aurattavan alueen pinta-ala} = (\text{ajoradan leveys} + \text{jalkakäytävän leveys}) * \text{kadun pituus} = 2322 \text{ m}^2$$

$$\text{Lumitase} = \text{lumiylijäämä} / \text{aurattavan alueen pinta-ala}$$

Lumiylijäämän arvo on keskiarvo.

Runsasluminen talvi	= $779 / 2322$	0,34
Normaaliluminen talvi	= $617 / 2322$	0,27
Vähäluminen talvi	= $539 / 2322$	0,23

**Lumikertymä, joka täyttää lumitilat**

Lumikertymä, joka täyttää lumitilat = lumitilojen teoreettinen yhteenlaskettu tilavuus (m<sup>3</sup>) / katualueen ala (m<sup>2</sup>) \* tiivistymisaste

Vallin maksimikorkeus 0,6 m	Vallin maksimikorkeus 1,0 m
= $256 \text{ m}^3 / 3096 \text{ m}^2 * 4 = 0,33$	= $508 \text{ m}^3 / 3096 \text{ m}^2 * 4 = 0,66$
<b>33 cm</b>	<b>66 cm</b>

## Liite 7. Lumitaselaskelmien herkkyysanalyysi

### Kyläkunnantie (vallin korkeus 0,6m)

Vähäluminen talvi

	-30 %	-20 %	-10 %	0 %	10 %	20 %	30 %
<b>Tiivistymisaste</b>	2,80	3,20	3,60	4,00	4,40	4,80	5,20
Lumiylijäämä (m3)	1275	1064	901	770	662	573	497
Lumiylijäämän muutos	66 %	38 %	17 %	0 %	-14 %	-26 %	-35 %
<b>Vallin poikkipinta-ala</b>	0,76	0,86	0,97	1,08	1,19	1,30	1,40
Lumiylijäämä (m3)	893	852	811	770	728	687	646
Lumiylijäämän muutos	16 %	11 %	5 %	0 %	-5 %	-11 %	-16 %
<b>Lumikertymä</b>	0,58	0,74	0,83	0,92	1,01	1,10	1,32
Lumiylijäämä (m3)	333	534	652	770	887	1005	1277
Lumiylijäämän muutos	-57 %	-31 %	-15 %	0 %	15 %	31 %	66 %

Normaaliluminen talvi

	-30 %	-20 %	-10 %	0 %	10 %	20 %	30 %
<b>Tiivistymisaste</b>	2,80	3,20	3,60	4,00	4,40	4,80	5,20
Lumiylijäämä (m3)	1513	1273	1086	936	814	712	625
Lumiylijäämän muutos	62 %	36 %	16 %	0 %	-13 %	-24 %	-29 %
<b>Vallin poikkipinta-ala</b>	0,76	0,86	0,97	1,08	1,19	1,30	1,40
Lumiylijäämä (m3)	1059	1018	977	936	895	854	813
Lumiylijäämän muutos	13 %	9 %	4 %	0 %	-4 %	-9 %	-13 %
<b>Lumikertymä</b>	0,66	0,84	0,95	1,05	1,16	1,26	1,50
Lumiylijäämä (m3)	438	667	802	936	1071	1206	1515
Lumiylijäämän muutos	-53 %	-29 %	-14 %	0 %	14 %	29 %	62 %

Runsasluminen talvi

	-30 %	-20 %	-10 %	0 %	10 %	20 %	30 %
<b>Tiivistymisaste</b>	2,80	3,20	3,60	4,00	4,40	4,80	5,20
Lumiylijäämä (m3)	2246	1914	1656	1449	1280	1139	1020
Lumiylijäämän muutos	55 %	32 %	14 %	0 %	-12 %	-21 %	-26 %
<b>Vallin poikkipinta-ala</b>	0,76	0,86	0,97	1,08	1,19	1,30	1,40
Lumiylijäämä (m3)	1572	1531	1490	1449	1408	1367	1326
Lumiylijäämän muutos	8 %	6 %	3 %	0 %	-3 %	-6 %	-8 %
<b>Lumikertymä</b>	0,91	1,16	1,31	1,45	1,60	1,74	2,07
Lumiylijäämä (m3)	761	1077	1263	1449	1635	1821	2249
Lumiylijäämän muutos	-47 %	-26 %	-13 %	0 %	13 %	26 %	55 %

**Kyläkunnantie (vallin korkeus 1,0m)**

Vähäluminen talvi

	-30 %	-20 %	-10 %	0 %	10 %	20 %	30 %
<b>Tiivistymisaste</b>	2,80	3,20	3,60	4,00	4,40	4,80	5,20
Lumiylijäämä (m3)	888	677	513	382	275	185	110
Lumiylijäämän muutos	132 %	77 %	34 %	0 %	-28 %	-51 %	-62 %
<b>Vallin poikkipinta-ala</b>	1,47	1,68	1,89	2,10	2,31	2,52	2,73
Lumiylijäämä (m3)	621	542	462	382	302	222	143
Lumiylijäämän muutos	63 %	42 %	21 %	0 %	-21 %	-42 %	-63 %
<b>Lumikertymä</b>	0,58	0,74	0,83	0,92	1,01	1,10	1,32
Lumiylijäämä (m3)	-55	146	264	382	500	618	889
Lumiylijäämän muutos	-114 %	-62 %	-31 %	0 %	31 %	62 %	133 %

Normaaliluminen talvi

	-30 %	-20 %	-10 %	0 %	10 %	20 %	30 %
<b>Tiivistymisaste</b>	2,80	3,20	3,60	4,00	4,40	4,80	5,20
Lumiylijäämä (m3)	1126	885	698	549	426	324	238
Lumiylijäämän muutos	105 %	61 %	27 %	0 %	-22 %	-41 %	-49 %
<b>Vallin poikkipinta-ala</b>	1,47	1,68	1,89	2,10	2,31	2,52	2,73
Lumiylijäämä (m3)	788	708	628	549	469	389	309
Lumiylijäämän muutos	44 %	29 %	15 %	0 %	-15 %	-29 %	-44 %
<b>Lumikertymä</b>	0,66	0,84	0,95	1,05	1,16	1,26	1,50
Lumiylijäämä (m3)	50	279	414	549	683	818	1128
Lumiylijäämän muutos	-91 %	-49 %	-25 %	0 %	25 %	49 %	106 %

Runsasluminen talvi

	-30 %	-20 %	-10 %	0 %	10 %	20 %	30 %
<b>Tiivistymisaste</b>	2,80	3,20	3,60	4,00	4,40	4,80	5,20
Lumiylijäämä (m3)	1859	1527	1268	1062	893	752	632
Lumiylijäämän muutos	75 %	44 %	19 %	0 %	-16 %	-29 %	-35 %
<b>Vallin poikkipinta-ala</b>	1,47	1,68	1,89	2,10	2,31	2,52	2,73
Lumiylijäämä (m3)	1301	1221	1141	1062	982	902	822
Lumiylijäämän muutos	23 %	15 %	8 %	0 %	-8 %	-15 %	-23 %
<b>Lumikertymä</b>	0,91	1,16	1,31	1,45	1,60	1,74	2,07
Lumiylijäämä (m3)	374	690	876	1062	1248	1434	1861
Lumiylijäämän muutos	-65 %	-35 %	-18 %	0 %	18 %	35 %	75 %

**Pakilantie (vallin korkeus 0,6m)**

Vähäluminen talvi

	-30 %	-20 %	-10 %	0 %	10 %	20 %	30 %
<b>Tiivistymisaste</b>	2,80	3,20	3,60	4,00	4,40	4,80	5,20
Lumiylijäämä (m3)	2433	2066	1781	1553	1367	1211	1080
Lumiylijäämän muutos	57 %	33 %	15 %	0 %	-12 %	-22 %	-30 %
<b>Vallin poikkipinta-ala</b>	1,05	1,20	1,35	1,50	1,65	1,80	1,95
Lumiylijäämä (m3)	1703	1653	1603	1553	1503	1453	1403
Lumiylijäämän muutos	10 %	6 %	3 %	0 %	-3 %	-6 %	-10 %
<b>Lumikertymä</b>	0,58	0,74	0,83	0,92	1,01	1,10	1,32
Lumiylijäämä (m3)	794	1143	1348	1553	1759	1964	2436
Lumiylijäämän muutos	-49 %	-26 %	-13 %	0 %	13 %	26 %	57 %

Normaaliluminen talvi

	-30 %	-20 %	-10 %	0 %	10 %	20 %	30 %
<b>Tiivistymisaste</b>	2,80	3,20	3,60	4,00	4,40	4,80	5,20
Lumiylijäämä (m3)	2847	2429	2104	1843	1630	1453	1303
Lumiylijäämän muutos	54 %	32 %	14 %	0 %	-12 %	-21 %	-25 %
<b>Vallin poikkipinta-ala</b>	1,05	1,20	1,35	1,50	1,65	1,80	1,95
Lumiylijäämä (m3)	1993	1943	1893	1843	1793	1743	1693
Lumiylijäämän muutos	8 %	5 %	3 %	0 %	-3 %	-5 %	-8 %
<b>Lumikertymä</b>	0,66	0,84	0,95	1,05	1,16	1,26	1,50
Lumiylijäämä (m3)	976	1375	1609	1843	2078	2312	2851
Lumiylijäämän muutos	-47 %	-25 %	-13 %	0 %	13 %	25 %	55 %

Runsasluminen talvi

	-30 %	-20 %	-10 %	0 %	10 %	20 %	30 %
<b>Tiivistymisaste</b>	2,80	3,20	3,60	4,00	4,40	4,80	5,20
Lumiylijäämä (m3)	4122	3545	3095	2736	2442	2197	1989
Lumiylijäämän muutos	51 %	30 %	13 %	0 %	-11 %	-20 %	-24 %
<b>Vallin poikkipinta-ala</b>	1,05	1,20	1,35	1,50	1,65	1,80	1,95
Lumiylijäämä (m3)	2886	2836	2786	2736	2686	2636	2586
Lumiylijäämän muutos	5 %	4 %	2 %	0 %	-2 %	-4 %	-5 %
<b>Lumikertymä</b>	0,91	1,16	1,31	1,45	1,60	1,74	2,07
Lumiylijäämä (m3)	1539	2089	2412	2736	3059	3383	4127
Lumiylijäämän muutos	-44 %	-24 %	-12 %	0 %	12 %	24 %	51 %

**Pakilantie (vallin korkeus 1,0m)**

Vähäluminen talvi

	-30 %	-20 %	-10 %	0 %	10 %	20 %	30 %
<b>Tiivistymisaste</b>	2,80	3,20	3,60	4,00	4,40	4,80	5,20
Lumiylijäämä (m3)	1967	1600	1315	1087	900	745	613
Lumiylijäämän muutos	81 %	47 %	21 %	0 %	-17 %	-31 %	-38 %
<b>Vallin poikkipinta-ala</b>	2,03	2,32	2,61	2,90	3,19	3,48	3,77
Lumiylijäämä (m3)	1377	1280	1184	1087	990	894	797
Lumiylijäämän muutos	27 %	18 %	9 %	0 %	-9 %	-18 %	-27 %
<b>Lumikertymä</b>	0,58	0,74	0,83	0,92	1,01	1,10	1,32
Lumiylijäämä (m3)	328	677	882	1087	1292	1498	1970
Lumiylijäämän muutos	-70 %	-38 %	-19 %	0 %	19 %	38 %	81 %

Normaaliluminen talvi

	-30 %	-20 %	-10 %	0 %	10 %	20 %	30 %
<b>Tiivistymisaste</b>	2,80	3,20	3,60	4,00	4,40	4,80	5,20
Lumiylijäämä (m3)	2381	1963	1637	1377	1164	987	836
Lumiylijäämän muutos	73 %	43 %	19 %	0 %	-15 %	-28 %	-34 %
<b>Vallin poikkipinta-ala</b>	2,03	2,32	2,61	2,90	3,19	3,48	3,77
Lumiylijäämä (m3)	1667	1570	1474	1377	1281	1184	1087
Lumiylijäämän muutos	21 %	14 %	7 %	0 %	-7 %	-14 %	-21 %
<b>Lumikertymä</b>	0,66	0,84	0,95	1,05	1,16	1,26	1,50
Lumiylijäämä (m3)	510	909	1143	1377	1611	1846	2385
Lumiylijäämän muutos	-63 %	-34 %	-17 %	0 %	17 %	34 %	73 %

Runsasluminen talvi

	-30 %	-20 %	-10 %	0 %	10 %	20 %	30 %
<b>Tiivistymisaste</b>	2,80	3,20	3,60	4,00	4,40	4,80	5,20
Lumiylijäämä (m3)	3656	3078	2629	2270	1975	1730	1523
Lumiylijäämän muutos	61 %	36 %	16 %	0 %	-13 %	-24 %	-29 %
<b>Vallin poikkipinta-ala</b>	2,03	2,32	2,61	2,90	3,19	3,48	3,77
Lumiylijäämä (m3)	2559	2463	2366	2270	2173	2076	1980
Lumiylijäämän muutos	13 %	9 %	4 %	0 %	-4 %	-9 %	-13 %
<b>Lumikertymä</b>	0,91	1,16	1,31	1,45	1,60	1,74	2,07
Lumiylijäämä (m3)	1073	1623	1946	2270	2593	2917	3661
Lumiylijäämän muutos	-53 %	-29 %	-14 %	0 %	14 %	29 %	61 %

**Simo Klemetinpojan tie (vallin korkeus 0,6m)**

Vähäluminen talvi

	-30 %	-20 %	-10 %	0 %	10 %	20 %	30 %
<b>Tiivistymisaste</b>	2,80	3,20	3,60	4,00	4,40	4,80	5,20
Lumiylijäämä (m3)	982	757	582	442	327	232	151
Lumiylijäämän muutos	122 %	71 %	32 %	0 %	-26 %	-48 %	-66 %
<b>Vallin poikkipinta-ala</b>	0,88	1,01	1,13	1,26	1,39	1,51	1,64
Lumiylijäämä (m3)	687	605	524	442	360	278	196
Lumiylijäämän muutos	56 %	37 %	19 %	0 %	-19 %	-37 %	-56 %
<b>Lumikertymä</b>	0,58	0,74	0,83	0,92	1,01	1,10	1,32
Lumiylijäämä (m3)	-25	190	316	442	568	694	984
Lumiylijäämän muutos	-106 %	-57 %	-29 %	0 %	29 %	57 %	123 %

Normaaliluminen talvi

	-30 %	-20 %	-10 %	0 %	10 %	20 %	30 %
<b>Tiivistymisaste</b>	2,80	3,20	3,60	4,00	4,40	4,80	5,20
Lumiylijäämä (m3)	1236	979	780	620	489	380	288
Lumiylijäämän muutos	99 %	58 %	26 %	0 %	-21 %	-39 %	-46 %
<b>Vallin poikkipinta-ala</b>	0,88	1,01	1,13	1,26	1,39	1,51	1,64
Lumiylijäämä (m3)	865	784	702	620	538	456	374
Lumiylijäämän muutos	40 %	26 %	13 %	0 %	-13 %	-26 %	-40 %
<b>Lumikertymä</b>	0,66	0,84	0,95	1,05	1,16	1,26	1,50
Lumiylijäämä (m3)	87	332	476	620	764	908	1238
Lumiylijäämän muutos	-86 %	-46 %	-23 %	0 %	23 %	46 %	100 %

Runsasluminen talvi

	-30 %	-20 %	-10 %	0 %	10 %	20 %	30 %
<b>Tiivistymisaste</b>	2,80	3,20	3,60	4,00	4,40	4,80	5,20
Lumiylijäämä (m3)	2019	1665	1389	1168	987	837	709
Lumiylijäämän muutos	73 %	43 %	19 %	0 %	-15 %	-28 %	-34 %
<b>Vallin poikkipinta-ala</b>	0,88	1,01	1,13	1,26	1,39	1,51	1,64
Lumiylijäämä (m3)	1414	1332	1250	1168	1086	1004	922
Lumiylijäämän muutos	21 %	14 %	7 %	0 %	-7 %	-14 %	-21 %
<b>Lumikertymä</b>	0,91	1,16	1,31	1,45	1,60	1,74	2,07
Lumiylijäämä (m3)	433	770	969	1168	1367	1565	2022
Lumiylijäämän muutos	-63 %	-34 %	-17 %	0 %	17 %	34 %	73 %

**Simo Klemetinpojan tie (vallin korkeus 1,0m)**

Vähäluminen talvi

	-30 %	-20 %	-10 %	0 %	10 %	20 %	30 %
<b>Tiivistymisaste</b>	2,80	3,20	3,60	4,00	4,40	4,80	5,20
Lumiylijäämä (m3)	176	-49	-224	-364	-479	-574	-655
Lumiylijäämän muutos	-148 %	-86 %	-38 %	0 %	31 %	58 %	69 %
<b>Vallin poikkipinta-ala</b>	1,75	2,00	2,25	2,50	2,75	3,00	3,25
Lumiylijäämä (m3)	123	-39	-202	-364	-527	-689	-852
Lumiylijäämän muutos	-134 %	-89 %	-45 %	0 %	45 %	89 %	134 %
<b>Lumikertymä</b>	0,58	0,74	0,83	0,92	1,01	1,10	1,32
Lumiylijäämä (m3)	-831	-616	-490	-364	-238	-112	178
Lumiylijäämän muutos	128 %	69 %	35 %	0 %	-35 %	-69 %	-149 %

Normaaliluminen talvi

	-30 %	-20 %	-10 %	0 %	10 %	20 %	30 %
<b>Tiivistymisaste</b>	2,80	3,20	3,60	4,00	4,40	4,80	5,20
Lumiylijäämä (m3)	430	173	-26	-186	-317	-426	-518
Lumiylijäämän muutos	-331 %	-193 %	-86 %	0 %	70 %	129 %	155 %
<b>Vallin poikkipinta-ala</b>	1,75	2,00	2,25	2,50	2,75	3,00	3,25
Lumiylijäämä (m3)	301	139	-24	-186	-349	-511	-674
Lumiylijäämän muutos	-262 %	-175 %	-87 %	0 %	87 %	175 %	262 %
<b>Lumikertymä</b>	0,66	0,84	0,95	1,05	1,16	1,26	1,50
Lumiylijäämä (m3)	-719	-474	-330	-186	-42	102	432
Lumiylijäämän muutos	286 %	155 %	77 %	0 %	-77 %	-155 %	-332 %

Runsasluminen talvi

	-30 %	-20 %	-10 %	0 %	10 %	20 %	30 %
<b>Tiivistymisaste</b>	2,80	3,20	3,60	4,00	4,40	4,80	5,20
Lumiylijäämä (m3)	1213	859	583	362	181	31	-97
Lumiylijäämän muutos	235 %	137 %	61 %	0 %	-50 %	-92 %	-110 %
<b>Vallin poikkipinta-ala</b>	1,75	2,00	2,25	2,50	2,75	3,00	3,25
Lumiylijäämä (m3)	849	687	524	362	199	37	-126
Lumiylijäämän muutos	135 %	90 %	45 %	0 %	-45 %	-90 %	-135 %
<b>Lumikertymä</b>	0,91	1,16	1,31	1,45	1,60	1,74	2,07
Lumiylijäämä (m3)	-373	-36	163	362	561	759	1216
Lumiylijäämän muutos	-203 %	-110 %	-55 %	0 %	55 %	110 %	236 %

**Tilanhoitajankaari (vallin korkeus 0,6m)**

Vähäluminen talvi

	-30 %	-20 %	-10 %	0 %	10 %	20 %	30 %
<b>Tiivistymisaste</b>	2,80	3,20	3,60	4,00	4,40	4,80	5,20
Lumiylijäämä (m3)	2653	2164	1784	1480	1231	1024	848
Lumiylijäämän muutos	79 %	46 %	21 %	0 %	-17 %	-31 %	-43 %
<b>Vallin poikkipinta-ala</b>	2,14	2,45	2,75	3,06	3,37	3,67	3,98
Lumiylijäämä (m3)	1857	1731	1606	1480	1354	1228	1103
Lumiylijäämän muutos	25 %	17 %	8 %	0 %	-8 %	-17 %	-25 %
<b>Lumikertymä</b>	0,58	0,74	0,83	0,92	1,01	1,10	1,32
Lumiylijäämä (m3)	467	932	1206	1480	1754	2027	2657
Lumiylijäämän muutos	-68 %	-37 %	-18 %	0 %	18 %	37 %	80 %

Normaaliluminen talvi

	-30 %	-20 %	-10 %	0 %	10 %	20 %	30 %
<b>Tiivistymisaste</b>	2,80	3,20	3,60	4,00	4,40	4,80	5,20
Lumiylijäämä (m3)	3206	2648	2214	1867	1583	1346	1146
Lumiylijäämän muutos	72 %	42 %	19 %	0 %	-15 %	-28 %	-33 %
<b>Vallin poikkipinta-ala</b>	2,14	2,45	2,75	3,06	3,37	3,67	3,98
Lumiylijäämä (m3)	2244	2118	1992	1867	1741	1615	1489
Lumiylijäämän muutos	20 %	13 %	7 %	0 %	-7 %	-13 %	-20 %
<b>Lumikertymä</b>	0,66	0,84	0,95	1,05	1,16	1,26	1,50
Lumiylijäämä (m3)	711	1242	1554	1867	2179	2491	3210
Lumiylijäämän muutos	-62 %	-33 %	-17 %	0 %	17 %	33 %	72 %

Runsasluminen talvi

	-30 %	-20 %	-10 %	0 %	10 %	20 %	30 %
<b>Tiivistymisaste</b>	2,80	3,20	3,60	4,00	4,40	4,80	5,20
Lumiylijäämä (m3)	4906	4135	3536	3057	2665	2338	2061
Lumiylijäämän muutos	60 %	35 %	16 %	0 %	-13 %	-24 %	-28 %
<b>Vallin poikkipinta-ala</b>	2,14	2,45	2,75	3,06	3,37	3,67	3,98
Lumiylijäämä (m3)	3434	3308	3183	3057	2931	2805	2680
Lumiylijäämän muutos	12 %	8 %	4 %	0 %	-4 %	-8 %	-12 %
<b>Lumikertymä</b>	0,91	1,16	1,31	1,45	1,60	1,74	2,07
Lumiylijäämä (m3)	1460	2194	2625	3057	3488	3920	4912
Lumiylijäämän muutos	-52 %	-28 %	-14 %	0 %	14 %	28 %	61 %



**Tilanhoitajankaari (vallin korkeus 1,0m)**

Vähäluminen talvi

	-30 %	-20 %	-10 %	0 %	10 %	20 %	30 %
<b>Tiivistymisaste</b>	2,80	3,20	3,60	4,00	4,40	4,80	5,20
Lumiylijäämä (m3)	1527	1038	658	354	105	-103	-278
Lumiylijäämän muutos	332 %	194 %	86 %	0 %	-70 %	-129 %	-155 %
<b>Vallin poikkipinta-ala</b>	4,06	4,64	5,22	5,80	6,38	6,96	7,54
Lumiylijäämä (m3)	1069	830	592	354	115	-123	-361
Lumiylijäämän muutos	202 %	135 %	67 %	0 %	-67 %	-135 %	-202 %
<b>Lumikertymä</b>	0,58	0,74	0,83	0,92	1,01	1,10	1,32
Lumiylijäämä (m3)	-659	-194	80	354	627	901	1531
Lumiylijäämän muutos	-286 %	-155 %	-77 %	0 %	77 %	155 %	333 %

Normaaliluminen talvi

	-30 %	-20 %	-10 %	0 %	10 %	20 %	30 %
<b>Tiivistymisaste</b>	2,80	3,20	3,60	4,00	4,40	4,80	5,20
Lumiylijäämä (m3)	2079	1522	1088	740	456	220	19
Lumiylijäämän muutos	181 %	105 %	47 %	0 %	-38 %	-70 %	-84 %
<b>Vallin poikkipinta-ala</b>	4,06	4,64	5,22	5,80	6,38	6,96	7,54
Lumiylijäämä (m3)	1456	1217	979	740	502	264	25
Lumiylijäämän muutos	97 %	64 %	32 %	0 %	-32 %	-64 %	-97 %
<b>Lumikertymä</b>	0,66	0,84	0,95	1,05	1,16	1,26	1,50
Lumiylijäämä (m3)	-416	116	428	740	1053	1365	2084
Lumiylijäämän muutos	-156 %	-84 %	-42 %	0 %	42 %	84 %	181 %

Runsasluminen talvi

	-30 %	-20 %	-10 %	0 %	10 %	20 %	30 %
<b>Tiivistymisaste</b>	2,80	3,20	3,60	4,00	4,40	4,80	5,20
Lumiylijäämä (m3)	3780	3009	2410	1931	1538	1212	935
Lumiylijäämän muutos	96 %	56 %	25 %	0 %	-20 %	-37 %	-45 %
<b>Vallin poikkipinta-ala</b>	4,06	4,64	5,22	5,80	6,38	6,96	7,54
Lumiylijäämä (m3)	2646	2407	2169	1931	1692	1454	1216
Lumiylijäämän muutos	37 %	25 %	12 %	0 %	-12 %	-25 %	-37 %
<b>Lumikertymä</b>	0,91	1,16	1,31	1,45	1,60	1,74	2,07
Lumiylijäämä (m3)	334	1068	1499	1931	2362	2794	3786
Lumiylijäämän muutos	-83 %	-45 %	-22 %	0 %	22 %	45 %	96 %

**Lukkotie (vallin korkeus 0,6m)**

Vähäluminen talvi

	-30 %	-20 %	-10 %	0 %	10 %	20 %	30 %
<b>Tiivistymisaste</b>	2,80	3,20	3,60	4,00	4,40	4,80	5,20
Lumiylijäämä (m3)	618	503	413	341	283	234	192
Lumiylijäämän muutos	81 %	47 %	21 %	0 %	-17 %	-32 %	-44 %
<b>Vallin poikkipinta-ala</b>	1,62	1,85	2,08	2,31	2,54	2,77	3,00
Lumiylijäämä (m3)	433	402	372	341	311	280	250
Lumiylijäämän muutos	27 %	18 %	9 %	0 %	-9 %	-18 %	-27 %
<b>Lumikertymä</b>	0,75	0,95	1,07	1,19	1,31	1,43	1,70
Lumiylijäämä (m3)	102	212	277	341	406	470	619
Lumiylijäämän muutos	-70 %	-38 %	-19 %	0 %	19 %	38 %	81 %

Normaaliluminen talvi

	-30 %	-20 %	-10 %	0 %	10 %	20 %	30 %
<b>Tiivistymisaste</b>	2,80	3,20	3,60	4,00	4,40	4,80	5,20
Lumiylijäämä (m3)	696	571	473	396	332	279	234
Lumiylijäämän muutos	76 %	44 %	20 %	0 %	-16 %	-30 %	-35 %
<b>Vallin poikkipinta-ala</b>	1,62	1,85	2,08	2,31	2,54	2,77	3,00
Lumiylijäämä (m3)	487	457	426	396	365	335	304
Lumiylijäämän muutos	23 %	15 %	8 %	0 %	-8 %	-15 %	-23 %
<b>Lumikertymä</b>	0,81	1,03	1,16	1,29	1,42	1,55	1,84
Lumiylijäämä (m3)	136	255	326	396	466	536	697
Lumiylijäämän muutos	-66 %	-35 %	-18 %	0 %	18 %	35 %	76 %

Runsasluminen talvi

	-30 %	-20 %	-10 %	0 %	10 %	20 %	30 %
<b>Tiivistymisaste</b>	2,80	3,20	3,60	4,00	4,40	4,80	5,20
Lumiylijäämä (m3)	859	713	600	510	436	374	322
Lumiylijäämän muutos	69 %	40 %	18 %	0 %	-15 %	-27 %	-32 %
<b>Vallin poikkipinta-ala</b>	1,62	1,85	2,08	2,31	2,54	2,77	3,00
Lumiylijäämä (m3)	601	571	540	510	479	449	418
Lumiylijäämän muutos	18 %	12 %	6 %	0 %	-6 %	-12 %	-18 %
<b>Lumikertymä</b>	0,95	1,20	1,35	1,50	1,65	1,80	2,15
Lumiylijäämä (m3)	208	347	428	510	591	672	860
Lumiylijäämän muutos	-59 %	-32 %	-16 %	0 %	16 %	32 %	69 %

**Lukkotie (vallin korkeus 1,0m)**

Vähäluminen talvi

	-30 %	-20 %	-10 %	0 %	10 %	20 %	30 %
<b>Tiivistymisaste</b>	2,80	3,20	3,60	4,00	4,40	4,80	5,20
Lumiylijäämä (m3)	362	247	157	85	26	-23	-64
Lumiylijäämän muutos	325 %	190 %	84 %	0 %	-69 %	-126 %	-152 %
<b>Vallin poikkipinta-ala</b>	2,98	3,40	3,83	4,25	4,68	5,10	5,53
Lumiylijäämä (m3)	253	197	141	85	29	-27	-83
Lumiylijäämän muutos	198 %	132 %	66 %	0 %	-66 %	-132 %	-198 %
<b>Lumikertymä</b>	0,75	0,95	1,07	1,19	1,31	1,43	1,70
Lumiylijäämä (m3)	-154	-44	21	85	150	214	363
Lumiylijäämän muutos	-281 %	-152 %	-76 %	0 %	76 %	152 %	326 %

Normaaliluminen talvi

	-30 %	-20 %	-10 %	0 %	10 %	20 %	30 %
<b>Tiivistymisaste</b>	2,80	3,20	3,60	4,00	4,40	4,80	5,20
Lumiylijäämä (m3)	440	315	217	139	76	23	-22
Lumiylijäämän muutos	215 %	126 %	56 %	0 %	-46 %	-84 %	-100 %
<b>Vallin poikkipinta-ala</b>	2,98	3,40	3,83	4,25	4,68	5,10	5,53
Lumiylijäämä (m3)	308	252	196	139	83	27	-29
Lumiylijäämän muutos	121 %	80 %	40 %	0 %	-40 %	-80 %	-121 %
<b>Lumikertymä</b>	0,81	1,03	1,16	1,29	1,42	1,55	1,84
Lumiylijäämä (m3)	-120	-1	69	139	210	280	441
Lumiylijäämän muutos	-186 %	-100 %	-50 %	0 %	50 %	100 %	216 %

Runsasluminen talvi

	-30 %	-20 %	-10 %	0 %	10 %	20 %	30 %
<b>Tiivistymisaste</b>	2,80	3,20	3,60	4,00	4,40	4,80	5,20
Lumiylijäämä (m3)	603	457	344	254	179	118	66
Lumiylijäämän muutos	138 %	80 %	36 %	0 %	-29 %	-54 %	-64 %
<b>Vallin poikkipinta-ala</b>	2,98	3,40	3,83	4,25	4,68	5,10	5,53
Lumiylijäämä (m3)	422	366	310	254	197	141	85
Lumiylijäämän muutos	66 %	44 %	22 %	0 %	-22 %	-44 %	-66 %
<b>Lumikertymä</b>	0,95	1,20	1,35	1,50	1,65	1,80	2,15
Lumiylijäämä (m3)	-48	91	172	254	335	416	604
Lumiylijäämän muutos	-119 %	-64 %	-32 %	0 %	32 %	64 %	138 %

**Teljintie (vallin korkeus 0,6m)**

Vähäluminen talvi

	-30 %	-20 %	-10 %	0 %	10 %	20 %	30 %
<b>Tiivistymisaste</b>	2,80	3,20	3,60	4,00	4,40	4,80	5,20
Lumiylijäämä (m3)	1589	1304	1083	906	761	640	538
Lumiylijäämän muutos	75 %	44 %	20 %	0 %	-16 %	-29 %	-41 %
<b>Vallin poikkipinta-ala</b>	1,20	1,37	1,54	1,71	1,88	2,05	2,22
Lumiylijäämä (m3)	1113	1044	975	906	837	768	699
Lumiylijäämän muutos	23 %	15 %	8 %	0 %	-8 %	-15 %	-23 %
<b>Lumikertymä</b>	0,75	0,95	1,07	1,19	1,31	1,43	1,70
Lumiylijäämä (m3)	316	587	746	906	1065	1225	1592
Lumiylijäämän muutos	-65 %	-35 %	-18 %	0 %	18 %	35 %	76 %

Normaaliluminen talvi

	-30 %	-20 %	-10 %	0 %	10 %	20 %	30 %
<b>Tiivistymisaste</b>	2,80	3,20	3,60	4,00	4,40	4,80	5,20
Lumiylijäämä (m3)	1781	1472	1232	1040	883	752	641
Lumiylijäämän muutos	71 %	42 %	18 %	0 %	-15 %	-28 %	-33 %
<b>Vallin poikkipinta-ala</b>	1,20	1,37	1,54	1,71	1,88	2,05	2,22
Lumiylijäämä (m3)	1247	1178	1109	1040	971	902	833
Lumiylijäämän muutos	20 %	13 %	7 %	0 %	-7 %	-13 %	-20 %
<b>Lumikertymä</b>	0,81	1,03	1,16	1,29	1,42	1,55	1,84
Lumiylijäämä (m3)	400	694	867	1040	1213	1386	1783
Lumiylijäämän muutos	-62 %	-33 %	-17 %	0 %	17 %	33 %	71 %

Runsasluminen talvi

	-30 %	-20 %	-10 %	0 %	10 %	20 %	30 %
<b>Tiivistymisaste</b>	2,80	3,20	3,60	4,00	4,40	4,80	5,20
Lumiylijäämä (m3)	2183	1824	1545	1321	1138	986	857
Lumiylijäämän muutos	65 %	38 %	17 %	0 %	-14 %	-25 %	-30 %
<b>Vallin poikkipinta-ala</b>	1,20	1,37	1,54	1,71	1,88	2,05	2,22
Lumiylijäämä (m3)	1528	1459	1390	1321	1252	1183	1115
Lumiylijäämän muutos	16 %	10 %	5 %	0 %	-5 %	-10 %	-16 %
<b>Lumikertymä</b>	0,95	1,20	1,35	1,50	1,65	1,80	2,15
Lumiylijäämä (m3)	577	919	1120	1321	1522	1723	2186
Lumiylijäämän muutos	-56 %	-30 %	-15 %	0 %	15 %	30 %	65 %

**Teljintie (vallin korkeus 1,0m)**

Vähäluminen talvi

	-30 %	-20 %	-10 %	0 %	10 %	20 %	30 %
<b>Tiivistymisaste</b>	2,80	3,20	3,60	4,00	4,40	4,80	5,20
Lumiylijäämä (m3)	969	684	462	285	140	19	-83
Lumiylijäämän muutos	240 %	140 %	62 %	0 %	-51 %	-93 %	-112 %
<b>Vallin poikkipinta-ala</b>	2,28	2,60	2,93	3,25	3,58	3,90	4,23
Lumiylijäämä (m3)	678	547	416	285	154	23	-108
Lumiylijäämän muutos	138 %	92 %	46 %	0 %	-46 %	-92 %	-138 %
<b>Lumikertymä</b>	0,75	0,95	1,07	1,19	1,31	1,43	1,70
<b>Lumiylijäämä (m3)</b>	-305	-34	126	285	445	604	971
<b>Lumiylijäämän muutos</b>	-207 %	-112 %	-56 %	0 %	56 %	112 %	241 %

Normaaliluminen talvi

	-30 %	-20 %	-10 %	0 %	10 %	20 %	30 %
<b>Tiivistymisaste</b>	2,80	3,20	3,60	4,00	4,40	4,80	5,20
Lumiylijäämä (m3)	1160	851	611	419	262	131	20
Lumiylijäämän muutos	177 %	103 %	46 %	0 %	-37 %	-69 %	-82 %
<b>Vallin poikkipinta-ala</b>	2,28	2,60	2,93	3,25	3,58	3,90	4,23
Lumiylijäämä (m3)	812	681	550	419	288	157	26
Lumiylijäämän muutos	94 %	62 %	31 %	0 %	-31 %	-62 %	-94 %
<b>Lumikertymä</b>	0,81	1,03	1,16	1,29	1,42	1,55	1,84
Lumiylijäämä (m3)	-221	73	246	419	592	765	1163
Lumiylijäämän muutos	-153 %	-82 %	-41 %	0 %	41 %	82 %	177 %

Runsasluminen talvi

	-30 %	-20 %	-10 %	0 %	10 %	20 %	30 %
<b>Tiivistymisaste</b>	2,80	3,20	3,60	4,00	4,40	4,80	5,20
Lumiylijäämä (m3)	1562	1203	924	701	518	366	237
Lumiylijäämän muutos	123 %	72 %	32 %	0 %	-26 %	-48 %	-57 %
<b>Vallin poikkipinta-ala</b>	2,28	2,60	2,93	3,25	3,58	3,90	4,23
Lumiylijäämä (m3)	1094	963	832	701	570	439	308
Lumiylijäämän muutos	56 %	37 %	19 %	0 %	-19 %	-37 %	-56 %
<b>Lumikertymä</b>	0,95	1,20	1,35	1,50	1,65	1,80	2,15
Lumiylijäämä (m3)	-43	299	500	701	902	1103	1565
Lumiylijäämän muutos	-106 %	-57 %	-29 %	0 %	29 %	57 %	123 %

**Tertunhaka (vallin korkeus 0,6m)**

Vähäluminen talvi

	-30 %	-20 %	-10 %	0 %	10 %	20 %	30 %
<b>Tiivistymisaste</b>	2,80	3,20	3,60	4,00	4,40	4,80	5,20
Lumiylijäämä (m3)	312	243	189	146	110	81	56
Lumiylijäämän muutos	115 %	67 %	30 %	0 %	-24 %	-45 %	-62 %
<b>Vallin poikkipinta-ala</b>	1,72	1,97	2,21	2,46	2,71	2,95	3,20
Lumiylijäämä (m3)	219	194	170	146	121	97	73
Lumiylijäämän muutos	50 %	33 %	17 %	0 %	-17 %	-33 %	-50 %
<b>Lumikertymä</b>	0,75	0,95	1,07	1,19	1,31	1,43	1,70
Lumiylijäämä (m3)	2	68	107	146	185	223	313
Lumiylijäämän muutos	-99 %	-53 %	-27 %	0 %	27 %	53 %	115 %

Normaaliluminen talvi

	-30 %	-20 %	-10 %	0 %	10 %	20 %	30 %
<b>Tiivistymisaste</b>	2,80	3,20	3,60	4,00	4,40	4,80	5,20
Lumiylijäämä (m3)	359	284	225	178	140	108	81
Lumiylijäämän muutos	101 %	59 %	26 %	0 %	-22 %	-39 %	-47 %
<b>Vallin poikkipinta-ala</b>	1,72	1,97	2,21	2,46	2,71	2,95	3,20
Lumiylijäämä (m3)	251	227	203	178	154	130	105
Lumiylijäämän muutos	41 %	27 %	14 %	0 %	-14 %	-27 %	-41 %
<b>Lumikertymä</b>	0,81	1,03	1,16	1,29	1,42	1,55	1,84
Lumiylijäämä (m3)	22	94	136	178	220	263	360
Lumiylijäämän muutos	-88 %	-47 %	-24 %	0 %	24 %	47 %	102 %

Runsasluminen talvi

	-30 %	-20 %	-10 %	0 %	10 %	20 %	30 %
<b>Tiivistymisaste</b>	2,80	3,20	3,60	4,00	4,40	4,80	5,20
Lumiylijäämä (m3)	457	370	301	247	202	165	134
Lumiylijäämän muutos	85 %	50 %	22 %	0 %	-18 %	-33 %	-40 %
<b>Vallin poikkipinta-ala</b>	1,72	1,97	2,21	2,46	2,71	2,95	3,20
Lumiylijäämä (m3)	320	296	271	247	223	198	174
Lumiylijäämän muutos	30 %	20 %	10 %	0 %	-10 %	-20 %	-30 %
<b>Lumikertymä</b>	0,95	1,20	1,35	1,50	1,65	1,80	2,15
Lumiylijäämä (m3)	65	149	198	247	296	345	458
Lumiylijäämän muutos	-73 %	-40 %	-20 %	0 %	20 %	40 %	85 %

**Tertunhaka (vallin korkeus 1,0m)**

Vähäluminen talvi

	-30 %	-20 %	-10 %	0 %	10 %	20 %	30 %
<b>Tiivistymisaste</b>	2,80	3,20	3,60	4,00	4,40	4,80	5,20
Lumiylijäämä (m3)	110	41	-13	-56	-92	-121	-146
Lumiylijäämän muutos	-296 %	-173 %	-77 %	0 %	63 %	115 %	138 %
<b>Vallin poikkipinta-ala</b>	3,15	3,60	4,05	4,50	4,95	5,40	5,85
Lumiylijäämä (m3)	77	33	-12	-56	-101	-145	-190
Lumiylijäämän muutos	-237 %	-158 %	-79 %	0 %	79 %	158 %	237 %
<b>Lumikertymä</b>	0,75	0,95	1,07	1,19	1,31	1,43	1,70
Lumiylijäämä (m3)	-200	-134	-95	-56	-17	21	111
Lumiylijäämän muutos	255 %	138 %	69 %	0 %	-69 %	-138 %	-297 %

Normaaliluminen talvi

	-30 %	-20 %	-10 %	0 %	10 %	20 %	30 %
<b>Tiivistymisaste</b>	2,80	3,20	3,60	4,00	4,40	4,80	5,20
Lumiylijäämä (m3)	157	82	23	-24	-62	-94	-121
Lumiylijäämän muutos	-764 %	-446 %	-198 %	0 %	162 %	297 %	356 %
<b>Vallin poikkipinta-ala</b>	3,15	3,60	4,05	4,50	4,95	5,40	5,85
Lumiylijäämä (m3)	110	65	21	-24	-68	-113	-157
Lumiylijäämän muutos	-565 %	-376 %	-188 %	0 %	188 %	376 %	565 %
<b>Lumikertymä</b>	0,81	1,03	1,16	1,29	1,42	1,55	1,84
Lumiylijäämä (m3)	-180	-108	-66	-24	19	61	158
Lumiylijäämän muutos	659 %	356 %	178 %	0 %	-178 %	-356 %	-766 %

Runsasluminen talvi

	-30 %	-20 %	-10 %	0 %	10 %	20 %	30 %
<b>Tiivistymisaste</b>	2,80	3,20	3,60	4,00	4,40	4,80	5,20
Lumiylijäämä (m3)	255	168	100	45	0	-37	-68
Lumiylijäämän muutos	467 %	273 %	121 %	0 %	-99 %	-182 %	-218 %
<b>Vallin poikkipinta-ala</b>	3,15	3,60	4,05	4,50	4,95	5,40	5,85
Lumiylijäämä (m3)	179	134	90	45	0	-44	-89
Lumiylijäämän muutos	297 %	198 %	99 %	0 %	-99 %	-198 %	-297 %
<b>Lumikertymä</b>	0,95	1,20	1,35	1,50	1,65	1,80	2,15
Lumiylijäämä (m3)	-136	-53	-4	45	94	143	256
Lumiylijäämän muutos	-403 %	-218 %	-109 %	0 %	109 %	218 %	469 %

**Välitie (vallin korkeus 0,6m)**

Vähäluminen talvi

	-30 %	-20 %	-10 %	0 %	10 %	20 %	30 %
<b>Tiivistymisaste</b>	2,80	3,20	3,60	4,00	4,40	4,80	5,20
Lumiylijäämä (m3)	1060	896	768	665	582	512	453
Lumiylijäämän muutos	59 %	35 %	15 %	0 %	-13 %	-23 %	-32 %
<b>Vallin poikkipinta-ala</b>	0,88	1,01	1,13	1,26	1,39	1,51	1,64
Lumiylijäämä (m3)	742	716	691	665	640	614	589
Lumiylijäämän muutos	12 %	8 %	4 %	0 %	-4 %	-8 %	-12 %
<b>Lumikertymä</b>	0,75	0,95	1,07	1,19	1,31	1,43	1,70
Lumiylijäämä (m3)	324	481	573	665	757	849	1061
Lumiylijäämän muutos	-51 %	-28 %	-14 %	0 %	14 %	28 %	60 %

Normaaliluminen talvi

	-30 %	-20 %	-10 %	0 %	10 %	20 %	30 %
<b>Tiivistymisaste</b>	2,80	3,20	3,60	4,00	4,40	4,80	5,20
Lumiylijäämä (m3)	1171	992	854	743	652	576	512
Lumiylijäämän muutos	58 %	34 %	15 %	0 %	-12 %	-22 %	-27 %
<b>Vallin poikkipinta-ala</b>	0,88	1,01	1,13	1,26	1,39	1,51	1,64
Lumiylijäämä (m3)	819	794	768	743	717	692	666
Lumiylijäämän muutos	10 %	7 %	3 %	0 %	-3 %	-7 %	-10 %
<b>Lumikertymä</b>	0,81	1,03	1,16	1,29	1,42	1,55	1,84
Lumiylijäämä (m3)	373	543	643	743	843	942	1172
Lumiylijäämän muutos	-50 %	-27 %	-13 %	0 %	13 %	27 %	58 %

Runsasluminen talvi

	-30 %	-20 %	-10 %	0 %	10 %	20 %	30 %
<b>Tiivistymisaste</b>	2,80	3,20	3,60	4,00	4,40	4,80	5,20
Lumiylijäämä (m3)	1403	1195	1034	905	800	712	637
Lumiylijäämän muutos	55 %	32 %	14 %	0 %	-12 %	-21 %	-26 %
<b>Vallin poikkipinta-ala</b>	0,88	1,01	1,13	1,26	1,39	1,51	1,64
Lumiylijäämä (m3)	982	956	931	905	880	854	828
Lumiylijäämän muutos	8 %	6 %	3 %	0 %	-3 %	-6 %	-8 %
<b>Lumikertymä</b>	0,95	1,20	1,35	1,50	1,65	1,80	2,15
Lumiylijäämä (m3)	476	673	789	905	1021	1137	1404
Lumiylijäämän muutos	-47 %	-26 %	-13 %	0 %	13 %	26 %	55 %



**Välitie (vallin korkeus 1,0m)**

Vähäluminen talvi

	-30 %	-20 %	-10 %	0 %	10 %	20 %	30 %
<b>Tiivistymisaste</b>	2,80	3,20	3,60	4,00	4,40	4,80	5,20
Lumiylijäämä (m3)	808	644	516	414	330	260	201
Lumiylijäämän muutos	95 %	56 %	25 %	0 %	-20 %	-37 %	-45 %
<b>Vallin poikkipinta-ala</b>	1,75	2,00	2,25	2,50	2,75	3,00	3,25
Lumiylijäämä (m3)	566	515	464	414	363	312	261
Lumiylijäämän muutos	37 %	25 %	12 %	0 %	-12 %	-25 %	-37 %
<b>Lumikertymä</b>	0,75	0,95	1,07	1,19	1,31	1,43	1,70
Lumiylijäämä (m3)	73	229	321	414	506	598	810
Lumiylijäämän muutos	-82 %	-45 %	-22 %	0 %	22 %	45 %	96 %

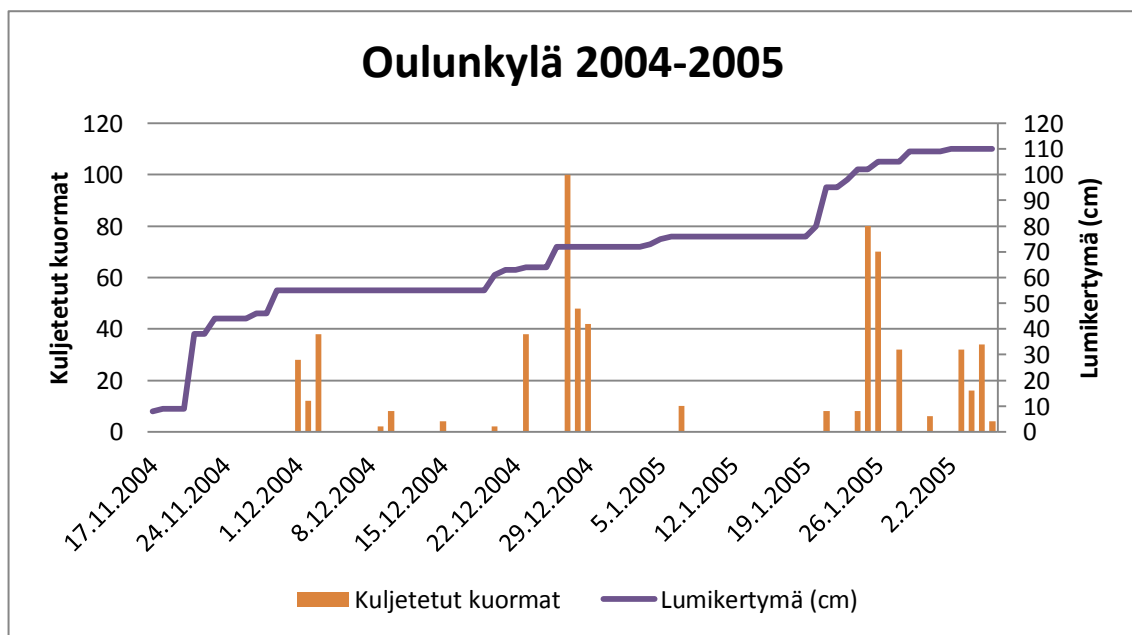
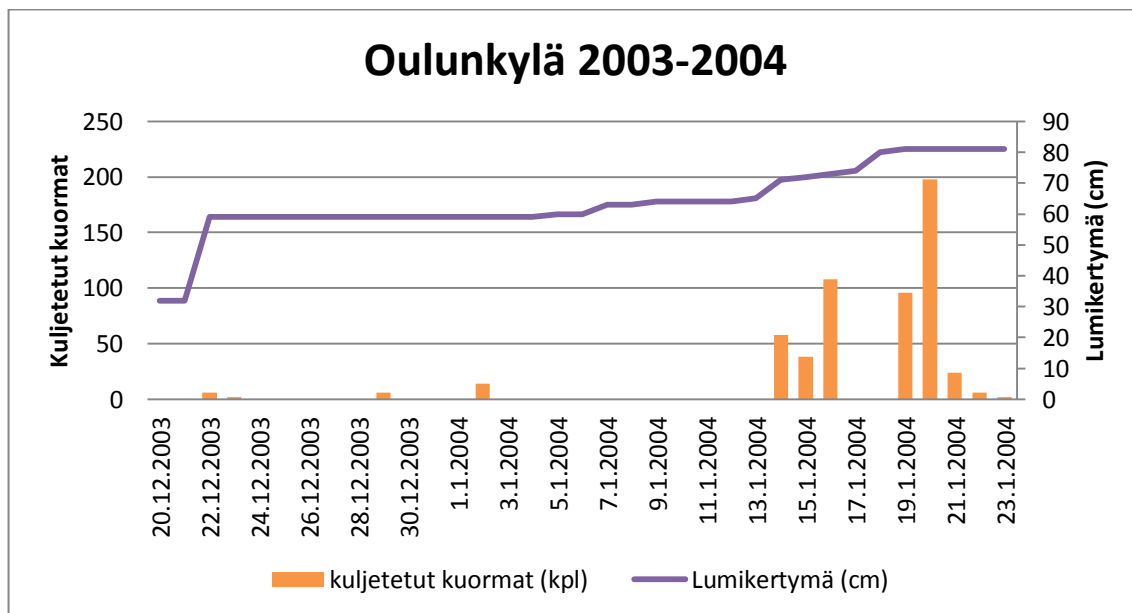
Normaaliluminen talvi

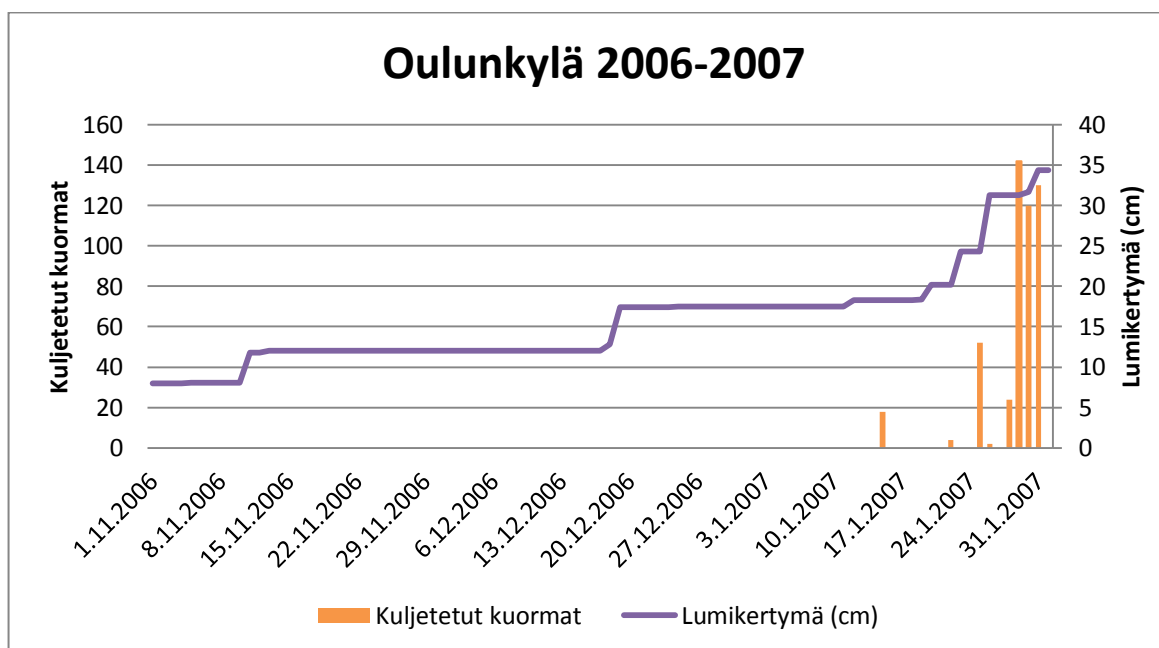
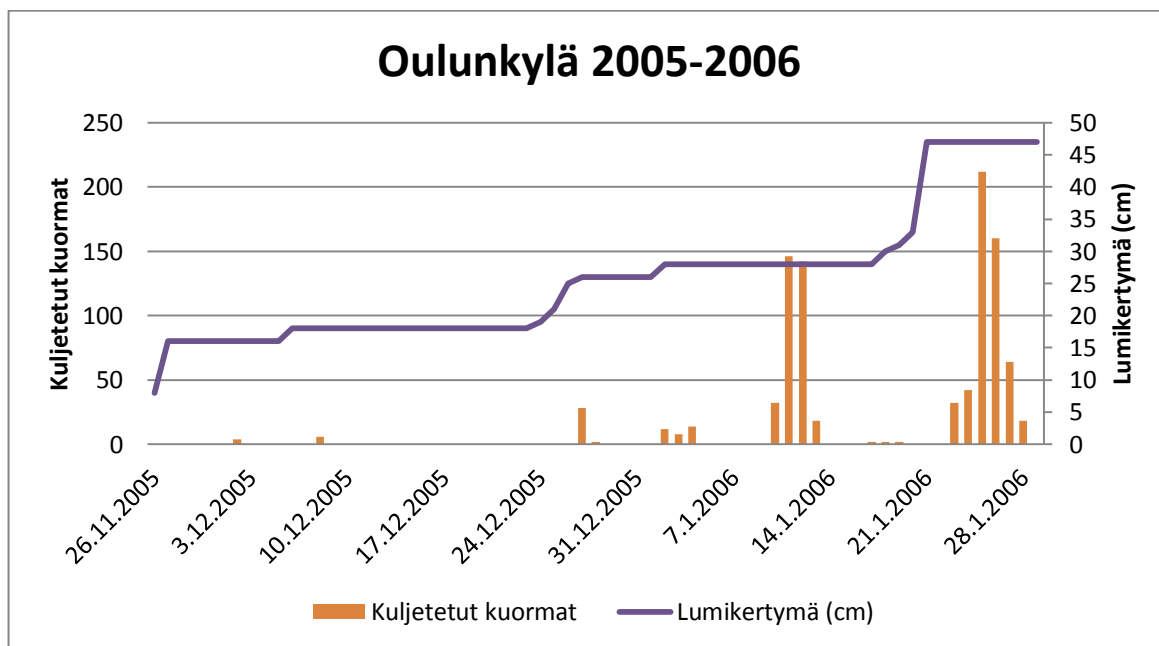
	-30 %	-20 %	-10 %	0 %	10 %	20 %	30 %
<b>Tiivistymisaste</b>	2,80	3,20	3,60	4,00	4,40	4,80	5,20
Lumiylijäämä (m3)	919	741	602	491	400	325	261
Lumiylijäämän muutos	87 %	51 %	23 %	0 %	-18 %	-34 %	-41 %
<b>Vallin poikkipinta-ala</b>	1,75	2,00	2,25	2,50	2,75	3,00	3,25
Lumiylijäämä (m3)	643	592	542	491	440	389	339
Lumiylijäämän muutos	31 %	21 %	10 %	0 %	-10 %	-21 %	-31 %
<b>Lumikertymä</b>	0,81	1,03	1,16	1,29	1,42	1,55	1,84
Lumiylijäämä (m3)	122	291	391	491	591	691	920
Lumiylijäämän muutos	-75 %	-41 %	-20 %	0 %	20 %	41 %	87 %

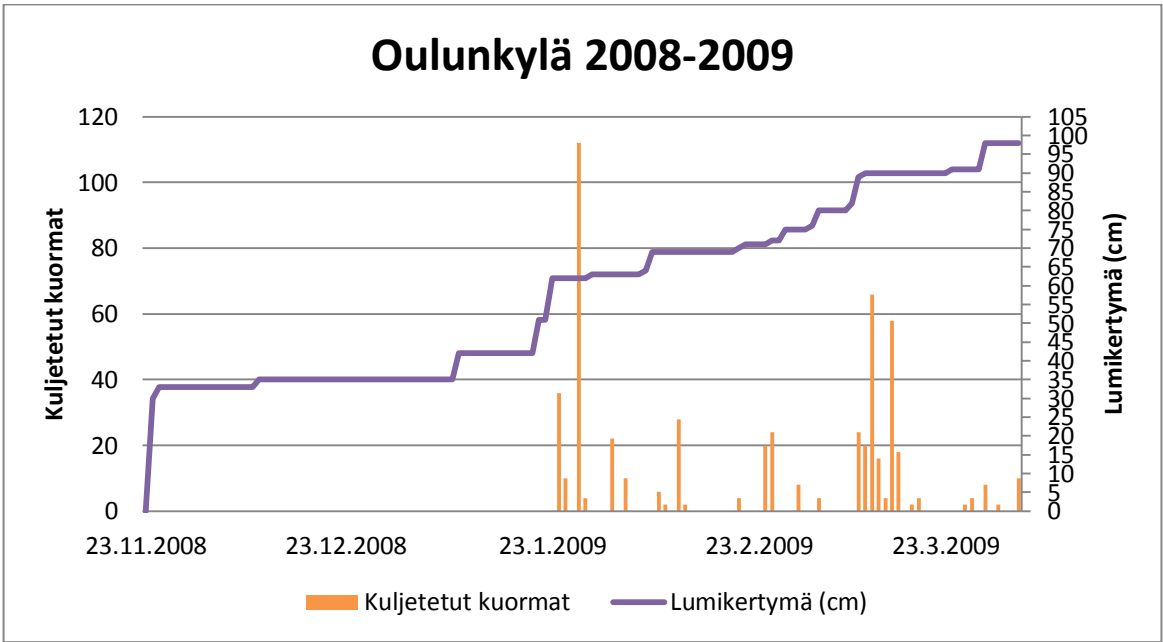
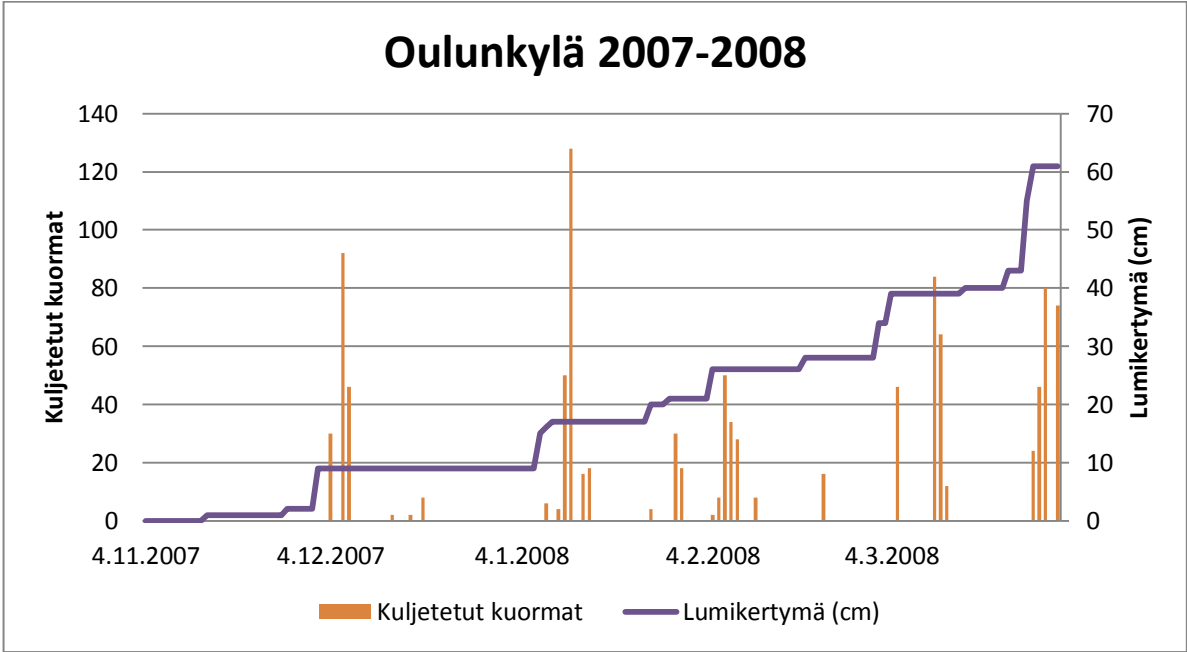
Runsasluminen talvi

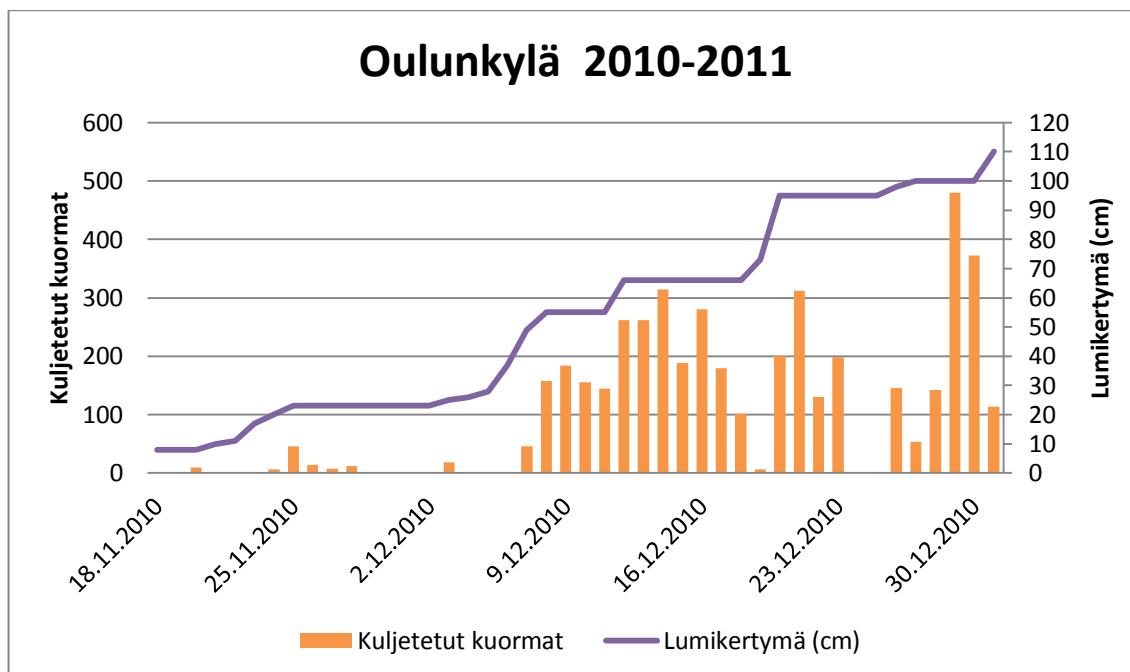
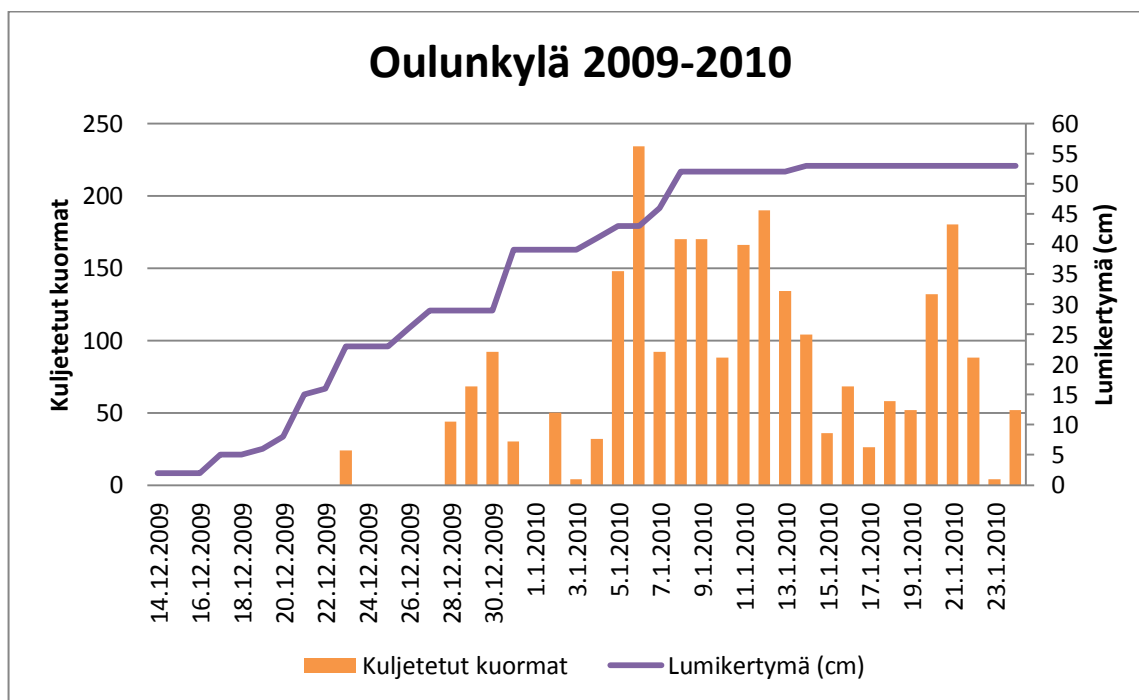
	-30 %	-20 %	-10 %	0 %	10 %	20 %	30 %
<b>Tiivistymisaste</b>	2,80	3,20	3,60	4,00	4,40	4,80	5,20
Lumiylijäämä (m3)	1151	944	783	654	548	460	386
Lumiylijäämän muutos	76 %	44 %	20 %	0 %	-16 %	-30 %	-36 %
<b>Vallin poikkipinta-ala</b>	1,75	2,00	2,25	2,50	2,75	3,00	3,25
Lumiylijäämä (m3)	806	755	704	654	603	552	501
Lumiylijäämän muutos	23 %	16 %	8 %	0 %	-8 %	-16 %	-23 %
<b>Lumikertymä</b>	0,95	1,20	1,35	1,50	1,65	1,80	2,15
Lumiylijäämä (m3)	224	421	537	654	770	886	1153
Lumiylijäämän muutos	-66 %	-36 %	-18 %	0 %	18 %	36 %	76 %

## Liite 8. Lumenkuljetus ja lumikertymä Oulunkylässä vuosi 2003 - 2011









## Liite 9. Katujen lumilogistiikkakustannus- ja CO<sub>2</sub>-laskelmat

VE0				VE1		
Katu	Hinta kuljetukselle (euroa)			Hinta kuljetukselle ja lähisiirrolle (euroa)		
	Runsasluminen	Normaaliluminen	Vähäluminen	Runsasluminen	Normaaliluminen	Vähäluminen
Kyläkunnantie	8820	5180	4060	7119	4181	3277
Pakilantie	17500	11270	9240	14125	9097	7458
Simo Klemetinpojan tie	5614	2254	1631	4531	1819	1316
Tilanhoitajan-kaari	17430	9100	5180	14069	7345	4181
Lukkotie	2660	1890	1470	2147	1526	1187
Teljintie	7070	5110	4200	5707	4125	3390
Tertunhaka	1050	630	490	848	509	396
Välitie	5460	4340	3780	4407	3503	3051
yhteensä	<u>65604</u>	<u>39774</u>	<u>30051</u>	<u>52952</u>	<u>32103</u>	<u>24255</u>
keskiarvo	<u>8201</u>	<u>4972</u>	<u>3756</u>	<u>6619</u>	<u>4013</u>	<u>3032</u>

VE2				VE3		
Katu	Hinta kuljetukselle ja lähisiirrolle (euroa)			Hinta kuljetukselle ja lähisiirrolle		
	Runsasluminen	Normaaliluminen	Vähäluminen	Runsasluminen	Normaaliluminen	Vähäluminen
Kyläkunnantie	5985	3515	2755	4851	2849	2233
Pakilantie	11875	7648	6270	9625	6199	5082
Simo Klemetinpojan tie	3810	1530	1107	3088	1240	897
Tilanhoitajan-kaari	11828	6175	3515	9587	5005	2849
Lukkotie	1805	1283	998	1463	1040	809
Teljintie	4798	3468	2850	3889	2811	2310
Tertunhaka	713	428	333	578	347	270
Välitie	3705	2945	2565	3003	2387	2079
yhteensä	<u>44517</u>	<u>26990</u>	<u>20392</u>	<u>36082</u>	<u>21876</u>	<u>16528</u>
keskiarvo	<u>5565</u>	<u>3374</u>	<u>2549</u>	<u>4510</u>	<u>2734</u>	<u>2066</u>

VE4			
Katu	Hinta lähisiirrolle (euroa)		
	Runsasluminen	Normaaliluminen	Vähäluminen
Kyläkunnantie	3150	1850	1450
Pakilantie	6250	4025	3300
Simo Klemetinpojan tie	2005	805	583
Tilanhoitajankaari	6225	3250	1850
Lukkotie	950	675	525
Teljintie	2525	1825	1500
Tertunhaka	375	225	175
Välitie	1950	1550	1350
yhteensä	<u>23430</u>	<u>14205</u>	<u>10733</u>
keskiarvo	<u>2929</u>	<u>1776</u>	<u>1342</u>

## Kustannukset per katumetri

keskiarvo Hel-  
sinki

	<b>Runsasluminen</b>	<b>Normaaliluminen</b>	<b>Vähäluminen</b>
<b>VE0</b>	28,1 €	16,3 €	12,0 €
<b>VE1</b>	22,7 €	13,1 €	9,7 €
<b>VE2</b>	19,1 €	11,0 €	8,2 €
<b>VE3</b>	15,5 €	8,9 €	6,6 €
<b>VE4</b>	10,0 €	5,8 €	4,3 €

keskiarvo Jy-  
väskylä

	<b>Runsasluminen</b>	<b>Normaaliluminen</b>	<b>Vähäluminen</b>
<b>VE0</b>	14,7 €	10,6 €	8,8 €
<b>VE1</b>	11,8 €	8,6 €	7,1 €
<b>VE2</b>	10,0 €	7,2 €	6,0 €
<b>VE3</b>	8,1 €	5,9 €	4,8 €
<b>VE4</b>	5,2 €	3,8 €	3,1 €

keskiarvo asun-  
tokadut

	<b>Runsasluminen</b>	<b>Normaaliluminen</b>	<b>Vähäluminen</b>
<b>VE0</b>	13,2 €	8,2 €	6,4 €
<b>VE1</b>	10,7 €	6,6 €	5,2 €
<b>VE2</b>	9,0 €	5,5 €	4,4 €
<b>VE3</b>	7,3 €	4,5 €	3,5 €
<b>VE4</b>	4,7 €	2,9 €	2,3 €

keskiarvo ko-  
oojakadut

	<b>Runsasluminen</b>	<b>Normaaliluminen</b>	<b>Vähäluminen</b>
<b>VE0</b>	35,0 €	22,3 €	17,0 €
<b>VE1</b>	28,3 €	18,0 €	13,8 €
<b>VE2</b>	23,8 €	15,1 €	11,6 €
<b>VE3</b>	19,3 €	12,2 €	9,4 €
<b>VE4</b>	12,5 €	7,9 €	6,1 €

**CO<sub>2</sub>-päästöt (kg) per katumetri****keskiarvo Helsingin kadut**

	<b>Runsasluminen</b>	<b>Normaaliluminen</b>	<b>Vähäluminen</b>
<b>VE0</b>	2,85	1,65	1,22
<b>VE1</b>	2,51	1,45	1,07
<b>VE2</b>	2,28	1,32	0,98
<b>VE3</b>	2,05	1,19	0,88
<b>VE4</b>	1,71	0,99	0,73

**keskiarvo Jyväskylän kadut**

	<b>Runsasluminen</b>	<b>Normaaliluminen</b>	<b>Vähäluminen</b>
<b>VE0</b>	1,49	1,08	0,89
<b>VE1</b>	1,31	0,95	0,78
<b>VE2</b>	1,19	0,86	0,71
<b>VE3</b>	1,07	0,78	0,64
<b>VE4</b>	0,89	0,65	0,53

**keskiarvo asuntokadut**

	<b>Runsasluminen</b>	<b>Normaaliluminen</b>	<b>Vähäluminen</b>
<b>VE0</b>	1,34	0,83	0,65
<b>VE1</b>	1,18	0,73	0,57
<b>VE2</b>	1,07	0,66	0,52
<b>VE3</b>	0,96	0,60	0,47
<b>VE4</b>	0,80	0,50	0,39

**keskiarvo kokoojakadut**

	<b>Runsasluminen</b>	<b>Normaaliluminen</b>	<b>Vähäluminen</b>
<b>VE0</b>	3,55	2,26	1,73
<b>VE1</b>	3,13	1,98	1,52
<b>VE2</b>	2,84	1,80	1,38
<b>VE3</b>	2,56	1,62	1,24
<b>VE4</b>	2,13	1,35	1,04



## Liite 10. Maastohavainnot

**Helsinki**

**Munkkiniemen uimarannan edustan merialueelle**



**Talin liikuntapuiston laita**





**Talin liikuntapuiston läheinen metsänreuna**





**Kenttä Lapinmäentien varressa**









**Ulvilan puiston kulma**



## Jyväskylä

### Eräkatu (kuvat Petri Teerimäki)





**Hirvenkello(kuvat Petri Teerimäki)**





**Keltavuokko (kuvat Petri Teerimäki)**





**Ketunleipä (kuvat Petri Teerimäki)**





**Teivaalantie (kuvat Petri Teerimäki)**



## Liite 11. Auraus- ja kuljetustarveindeksit talville vuosina 1992 - 2011

### Helsinki

	1992-93	1993-94	1994-95	1995-96	1996-97	1997-98	1998-99	1999-00	2000-01	2001-02
Lumen kuljetustarve	29	58	53	123	64	49	324	41	57	165
Lumen auraustarve	68	93	101	101	77	94	175	89	83	114
Lumisyyvyys (max) (cm)	24	28	22	44	42	19	60	22	33	41

	2002-03	2003-04	2004-05	2005-06	2006-07	2007-08	2008-09	2009-10	2010-11
Lumen kuljetustarve	56	152	156	67	18	12	58	336	471
Lumen auraustarve	80	109	101	77	48	56	76	123	131
Lumisyyvyys (max) (cm)	29	46	33	31	19	18	33	73	67

#### keskiarvot

Lumen kuljetustarve	120
Lumen auraustarve	95
Lumikertymä (cm)	109

### Jyväskylä

	1992-93	1993-94	1994-95	1995-96	1996-97	1997-98	1998-99	1999-00	2000-01	2001-02
Lumen kuljetustarve	221	204	234	129	58	203	108	278	93	475
Lumen auraustarve	138	110	130	94	102	104	93	130	103	137
Lumisyyvyys (max) (cm)	50	70	56	62	23	40	48	60	37	82

	2002-03	2003-04	2004-05	2005-06	2006-07	2007-08	2008-09	2009-10	2010-11
Lumen kuljetustarve	203	302	176	197	60	103	116	208	371
Lumen auraustarve	96	123	104	115	82	121	108	106	151
Lumisyyvyys (max) (cm)	59	68	55	67	34	35	34	63	71

#### keskiarvot

Lumen kuljetustarve	197
Lumen auraustarve	113
Lumikertymä (cm)	130

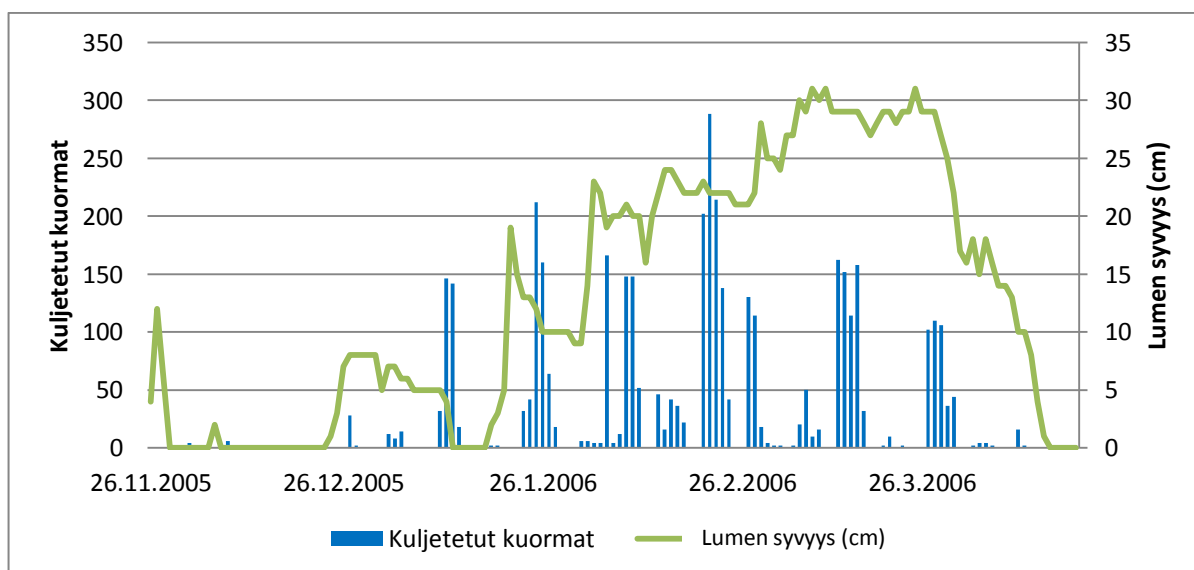
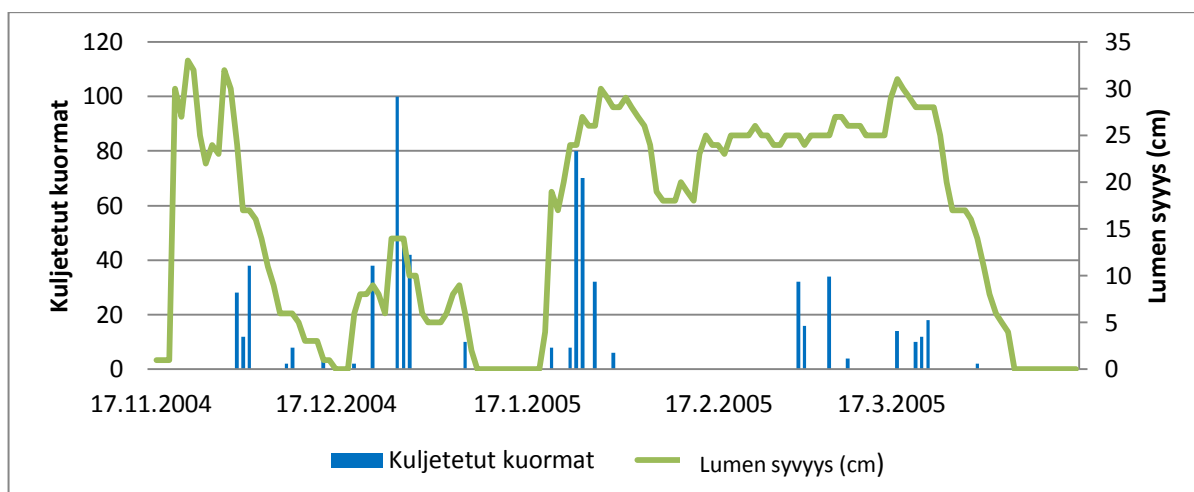
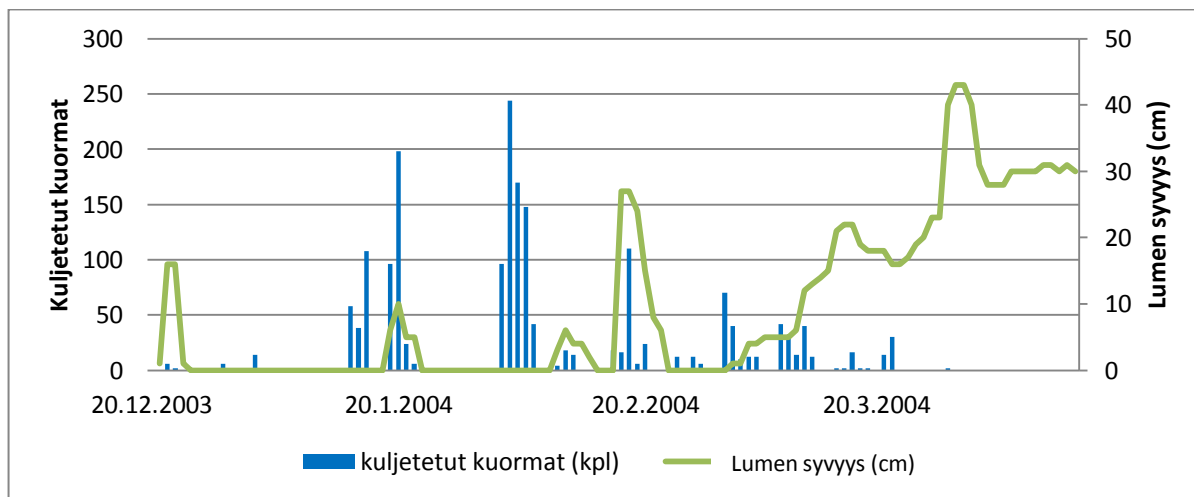
Kuljetus- ja auraustarveindeksien mukaan luokitellut talvet ja vertailu

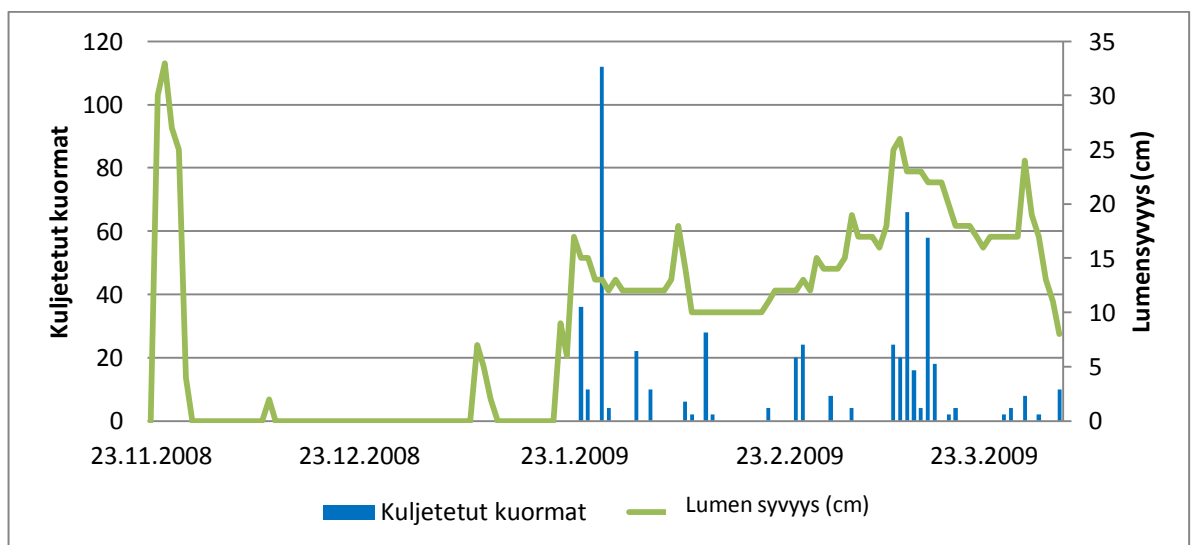
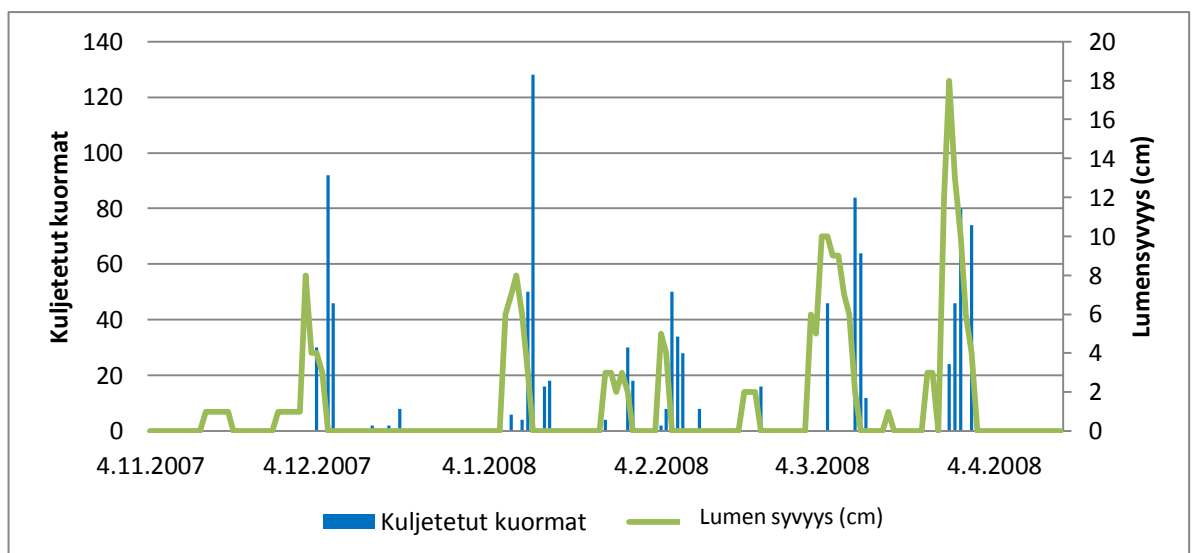
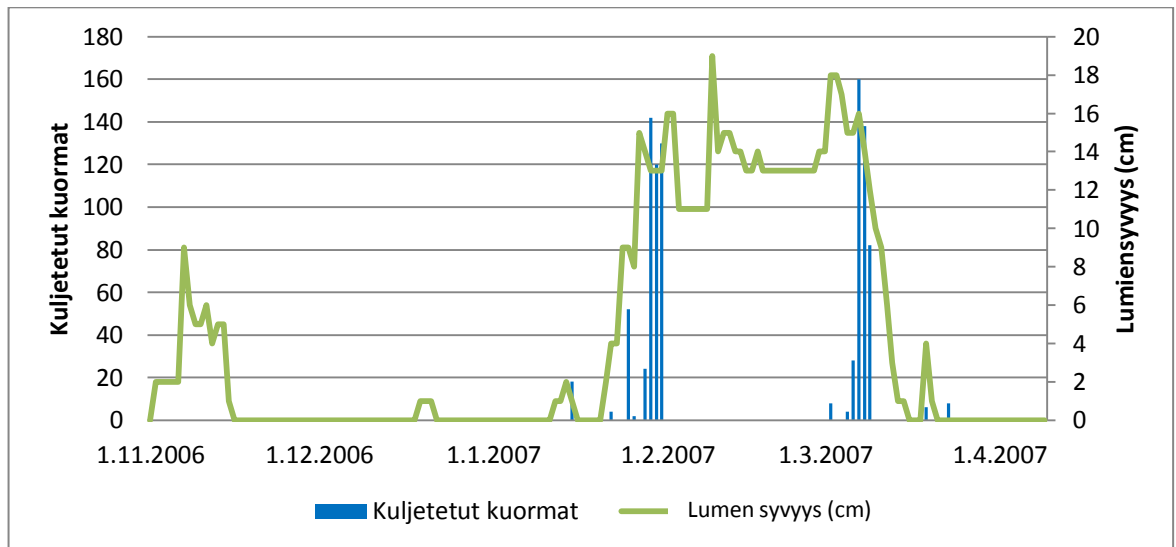
	Lumen syvyyden perusteella	Kuljetustarpeen perusteella	Auraustarpeen perusteella	Kaikki yhtene- vät	Yhtenevä kuljetuksen kanssa	Yhtenevä aurauksen kanssa
92-93				X		
93-94						X
94-95					X	
95-96				X		
96-97						X
97-98					X	
98-99				X		
99-00					X	
00-01						X
01-02						X
02-03						X
03-04						X
04-05						X
05-06						X
06-07				X		
07-08				X		
08-09						
09-10				X		
10-11				X		

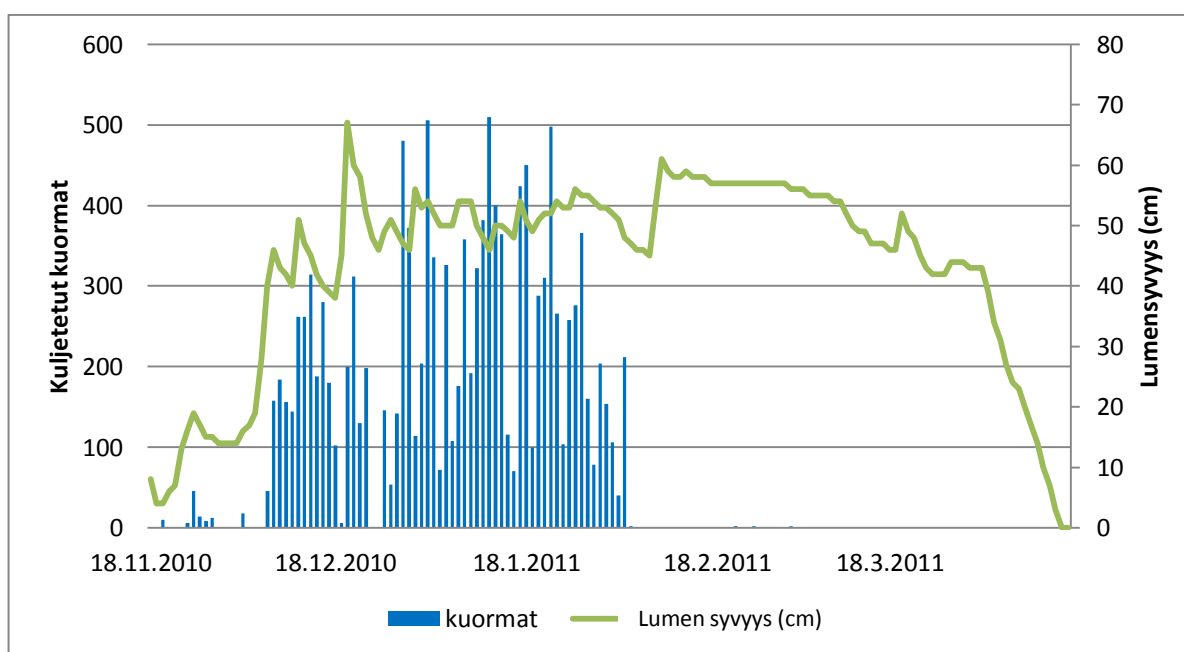
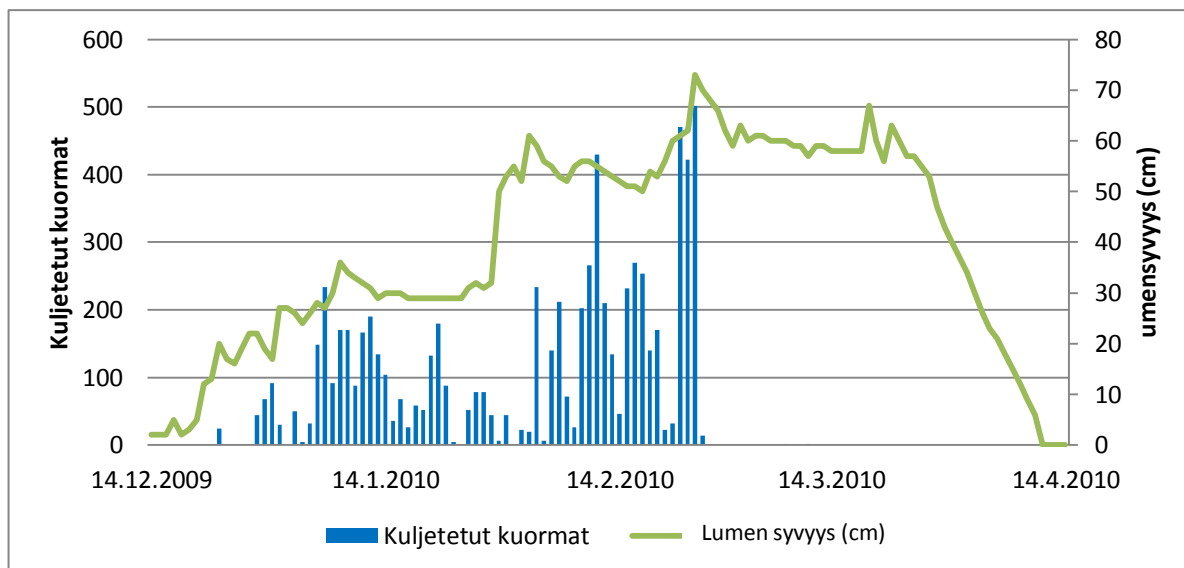
	Lumen syvyyden perusteella	Kuljetustarvein- deksin perus- teella	Auraustarve- ndeksin perus- teella	suorarivi	kuljetuksen kanssa	aurauksen kanssa
92-93						
93-94						X
94-95						X
95-96						X
96-97				X		
97-198						
98-99						X
99-00						X
00-01					X	
01-02				X		
02-03				X		
03-04				X		
04-05				X		
05-06				X		
06-07				X		
07-08					X	
08-09					X	
09-10						X
10-11				X		
				8	3	6

Vaaleanpunainen = vähäluminen, Keltainen = normaaliluminen, Vihreä = runsasluminen

## Liite 12. Lumen sulamisen vaikutus kuljetustarpeeseen Oulunkylässä







Runsaslumisina talvina 2009 - 2010 ja 2010 - 2011 lumen kuljetus on Oulunkylään lopetettu, kun lumenvastaanottoaika on täyttynyt.